



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학석사 학위논문

자유탐구 활동에서 나타난
과학고등학교 학생들의 인식적 목표,
인식적 이해와 추론의 복잡성 탐색

Exploring Science High School Students'
Epistemic Goals, Epistemic Considerations and
Complexity of Reasoning in Open Inquiry

2018년 8월

서울대학교 대학원

과학교육과 생물전공

윤 현 정

자유탐구 활동에서 나타난
과학고등학교 학생들의 인식적 목표,
인식적 이해와 추론의 복잡성 탐색

Exploring Science High School Students'
Epistemic Goals, Epistemic Considerations and
Complexity of Reasoning in Open Inquiry

지도교수 김 희 백

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함
2018년 6월

서울대학교 대학원
과학교육과 생물전공
윤 현 정

윤현정의 교육학석사 학위논문을 인준함
2018년 7월

위 원 장

金永洙 (인)

부위원장

김재근 (인)

위 원

金姬伯 (인)

국문초록

본 연구는 자유탐구 활동에서 나타난 과학고등학교 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해가 추론 복잡성과 어떠한 관련이 있는지 알아보고, 자유탐구가 참과학 탐구의 성격을 띠게 하는 맥락을 탐색하였다. 1명의 교사와 12명의 2학년 학생이 연구에 참여하였으며 학생들은 2인 1팀을 이루어 6개월 동안 자유탐구를 수행하였다. 연구에 참여한 총 6팀 중 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성이 뚜렷하게 구분되는 2팀을 초점 집단으로 선정하여 사례 연구를 실시하였다. 학생의 활동과 면담을 녹화, 녹음한 후 전사한 자료, 참여관찰 자료, 학생이 작성한 인공물을 주요 분석 자료로 활용하였다. 인식의 대상 및 활동 성격에 따라 구분되는 입문, 수행, 발표의 3개의 활동 시기별로 인식적 측면이 드러난 추론 사례를 중점적으로 분석하였다. 이때 인식적 목표는 지식 구성 활동에 참여하는 이유를 중심으로 분석하였고, 인식적 이해는 지식 구성 활동에 참여하는 방법을 중심으로 지식 산물의 본성, 일반성, 정당화, 청중의 네 가지 측면을 중심으로 분석하였다. 추론의 복잡성은 추론 활동의 인식론적 진정성에 따라 복잡성의 수준을 4개 수준으로 구분하는 분석틀을 활용하였다. 모든 사례는 맥락을 중요하게 고려하여 해석하였다.

연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해는 인식 대상의 특성과 맥락에 따라 차이가 있었다. ‘현상 이해에 대한 가치의 공유, 연구의 가치를 성찰하는 기회, 협업과 합의를 요구한 과제 특성, 팀원 간의 충분한 소통 기회’와 같은 맥락은 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해의 향상을 촉진하는 요인으로 작용하였다. 반면, ‘연구 관련 문헌에 대한 비판적 검토 기회의 부재, 환경적 제약’과 같은 맥락은 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해의 하락을 촉진하는 요인으로 작용하였다. 둘째, 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해는 추론의 복잡성에 영향을 미쳤다. ‘과학적 의미 형성’의 인식적 목표는 학생이 직접 생성한 연구 의문을 바탕으로 검증 가능한 가설을 설정하는 높은 수준의 추론으로 이어졌다. 정당화에 대한 높은 인식적 이해는 대조군 설정에 의도적

인 주의를 기울이고 독창적인 실험 노하우를 개발하는 추론으로 이어졌다. 청중에 대한 높은 인식적 이해는 연구의 근거와 가치에 대한 논변을 들어 자신들의 연구 결과를 방어하고, 후속 연구를 제안하는 높은 수준의 추론으로 이어졌다. 반면, ‘정답 찾기’의 인식적 목표와 정당화에 대한 낮은 인식적 이해는 자료의 의미를 해석하지 않고, 실험의 한계점을 조절하지 않는 낮은 수준의 추론으로 이어졌다. 청중에 대한 낮은 인식적 이해는 연구 결과를 적극적으로 방어하지 않고, 후속 연구를 고려하지 않는 낮은 수준의 추론으로 이어졌다. 본 연구는 자유탐구 지도와 관련하여 연구 활동의 가치를 공유하고 학생의 인식적 권위를 확인할 수 있는 충분한 소통 기회와 비판적 검토 기회를 제공할 것을 시사한다.

**주요어 : 자유탐구, 참과학 탐구, 인식적 목표, 인식적 이해, 추론의
복잡성**

학 번 : 2016-21596

목 차

제 1 장 서론	1
1. 연구의 필요성	1
2. 연구 목적 및 연구 문제	5
3. 연구의 제한점	5
제 2 장 이론적 배경	6
1. 실행에서의 인식론에 대한 연구의 흐름	6
2. 참과학 탐구	8
2.1 참과학 탐구의 정의와 특성	8
2.2 참과학 탐구의 추론	9
3. 자유탐구	13
3.1 자유탐구의 정의와 필요성	13
3.2 자유탐구와 인식론의 연관에 대한 선행연구	13
제 3 장 연구 방법 및 절차	15
1. 연구 참여자	15
2. 연구 맥락	17
3. 자료 수집	19
4. 자료 분석	20
4.1 인식적 목표와 인식적 이해 분석	20
4.2 추론의 복잡성 분석	23

제 4 장 연구 결과 및 논의	29
1. 입문 시기: 주제 선정 및 실험 설계	31
2. 수행 시기: 실험 수행 및 자료 수집	36
3. 발표 시기: 자료 해석 및 결과 발표	41
제 5 장 결론 및 제언	48
참고문헌	52
Abstract	58

표 목 차

[표 1] 참과학 탐구, 단순 실험, 단순 관찰, 단순 설명의 인식론...	11
[표 2] 초점 집단 학생들의 주요 특징	16
[표 3] 자유탐구 활동 시기별 주요 과업과 활동	18
[표 4] 실행에서의 인식론에서 나타날 수 있는 인식적 이해	22
[표 5] 탐구 활동에서 나타나는 과학적 추론의 복잡성에 대한 틀..	24
[표 6] 활동 시기별 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성...	30

제 1 장 서론

1. 연구의 필요성

최근 과학교육에서는 과학의 인식적 기초에 대한 학생들의 이해를 발달시키기 위해 실행(practice)의 관점을 교실에 도입할 것을 강조하고 있다(NGSS Lead States, 2013; Duschl & Grandy, 2013). 특히, 인식적 실행의 진정성을 높이는 방안과 관련하여 과학자의 연구와 같은 진정한 연구 맥락을 제공한다는 뜻에서 이름 붙여진 참과학 탐구(참탐구, authentic scientific inquiry)는 학생들이 실제 과학자와 같은 사회적, 협력적 맥락에서 자신의 과학 의문을 탐색하고, 조사 계획을 세우고, 자료를 수집하고, 증거 기반의 설명을 구성하고, 자신의 설명을 소통하고 방어한다는 점에서, 과학의 본성에 대한 이해를 돕고 과학자들의 복잡한 추론 같은 진정한 실행을 경험할 수 있는 교수 전략이자 맥락으로 기대되고 있다(Crawford, 2012; Chinn & Malhotra, 2002). 탐구 활동의 진정성을 높이는 이러한 접근은 학생들이 적극적으로 과학 문화에 참여하여 과학 지식을 산출할 수 있는 기회를 제공한다는 점에서도 중요한 의미를 지닌다(Fusco, 2001).

국내에서 이러한 관점을 반영한 교수학습 활동의 일환으로 자유탐구가 이루어지고 있다(교육과학기술부, 2008). 2007 개정 과학과 교육과정을 통해 처음 도입된 자유탐구는 주어진 절차를 따르고 결과를 확인하는 단순탐구의 한계를 벗어나, 학생 스스로 관심 분야의 주제를 선택하여 장기간의 탐구를 수행함으로써, 과학에 흥미를 갖고, 과학 학습과 탐구를 강화하고, 과학 분야의 진로를 추구할 수 있도록 돕는 활동이다(교육과학기술부, 2008). 특히 과학고등학교 학생과 같은 과학 영재들은 자유탐구와 같은 연구 중심 프로그램을 통해 고급 과학 지식과 기능뿐만 아니라 미래 과학자로서 필요한 과학적 사고와 태도를 배울 필요가 제기된다(박종원, 2009). 실제로 자유탐구는 과학에 특별한 재능이 있는 학생들에

게 과학 분야의 전문교육을 제공하는 과학고등학교에서 특히 중요한 교육활동으로 운영되고 있다. 과학고에서 ‘과제연구’ 등의 명칭으로 지칭되는 자유탐구는 실험 수행이나 자료 수집을 위한 시간이 정규교육과정에 편성되어 있을 뿐 아니라, 사전 연구 교육과 연구 계획, 결과 발표 및 평가 등 일련의 과정을 학교 차원에서 체계적으로 운영하고 있어 장기간에 걸쳐 학생이 주도하는 자유탐구의 특성을 살려 운영하는데 적합한 환경을 갖추고 있다. 뿐만 아니라 과학고등학교에서는 심화 수준의 과학 교수학습이 이루어지고, 첨단 실험 기자재와 설비가 지원되어, 복잡한 추론이 요구되는 고급 수준의 연구 문제를 다루는 것을 돕고, 과학 학술 동아리, 멘토링 등을 통해 학생 간의 사회적 상호작용을 장려한다는 점에서 참과학 탐구가 이루어질 수 있는 충분한 환경적 요소를 갖추고 있다. 이러한 점에서 과학고등학교 학생들의 자유탐구 경험은 과학 관련 문제를 창의적으로 해결해보는 기회일 뿐만 아니라 과학 및 과학 연구 활동에 관한 인식론을 바탕으로 실행에 참여하는 기회가 될 수 있다.

탐구 활동에 관한 학생의 인식론에 대하여 Sandoval(2005)은 전문 과학에서 과학 지식과 지식의 생성에 대해 학생들이 가지는 생각을 형식적 인식론(formal epistemology)으로, 학교 과학에서 학생 자신의 지식 생성에 대한 생각이자 학생의 탐구를 이끄는 인식론을 실행적 인식론(practical epistemology)으로 구분하고, 학생의 실행적 인식론을 연구해야 할 필요성을 주장하였다. 이와 비슷한 관점에서 수행된 많은 연구들은 교사-학생간의 상호작용이나 그룹의 역동성 같은 학습 맥락이 실행적 인식론에 영향을 줄 수 있다고 보고(Berland & Hammer, 2012a; Scherr & Hammer, 2009), 학생이 지닌 인식론에 대한 평가가 단일한 관점에서 이루어질 수 없으며, 해당 맥락에서 활성화된 인식론적 자원의 적절성과 유용성을 바탕으로 이루어져야 한다고 주장하였다(Elby & Hammer, 2001; Hammer & Elby, 2002). 이러한 관점에서 나아가 Berland 등(2016)은 학생의 실행을 이끄는 인식적 아이디어는 맥락 특이적이고 개별적인 특성을 지닌다고 주장하였으며, 과학적 실행에 참여하는 학생들의 인식론을 인식적 목표(epistemic goals)와 인식적 이해

(epistemic considerations)의 두 가지 측면에서 살펴볼 수 있는 ‘실행에서의 인식론(epistemologies in practice: EIP)’에 대한 분석들을 제안하였다. 이러한 연구들은 학생의 탐구 실행을 이끄는 인식적 측면을 실행적 인식론의 관점에서 살펴볼 필요성을 제기한다.

한편, 일부 학자들은 추론을 통해 탐구 활동에서 학생들이 인식론적으로 진정한 의미를 구성하는지 살펴볼 수 있다고 주장하였다(Chinn & Malhotra, 2002; Dolan & Grady, 2010). 일반적으로 과학적 추론은 ‘지식 향상을 목적으로 하는 의식적, 의도적 지식 추구 과정’으로 정의되며, 이론과 증거를 조화시키는 과정이 추론 활동의 핵심을 이룬다고 알려져 있다(Kuhn, 2004). 이러한 정의에 따르면 실험을 통해 증거를 제공하는 활동이나, 어떤 자료가 주장을 뒷받침하는 증거로 중요한 이유를 설명하는 활동 등은 모두 과학적 추론 활동이 될 수 있다(Bybee, 2000; McNeill & Krajcik, 2007). 그러나 Chinn과 Malhotra(2002)는 이러한 일반적인 추론 특징은 참과학 탐구와 거리가 먼 단순 탐구에서도 나타날 수 있기 때문에 참과학 탐구 추론만의 핵심적인 특징을 보여주지 못한다는 점을 지적하며, 단순 탐구와 참과학 탐구의 특징을 인식론을 중심으로 비교함으로써 복잡하고 불확실한 추론과 다양한 논변이 나타나는 참과학 탐구 추론만의 고유한 특성을 제시하였다. 더 나아가 Dolan과 Grady(2010)는 탐구 활동에 참여하는 학생들이 인식론적 진정성의 측면에서 높은 수준의 추론에 참여하는지를 판단할 수 있는 ‘추론의 복잡성 수준에 대한 분석틀’을 제시하기도 하였다. 이러한 연구들은 참과학 탐구에 참여하는 학생들이 인식론적으로 진정한 추론을 나타내는지, 추론의 복잡성은 어떠한지 살펴볼 필요성을 제기한다.

이상의 내용을 종합하면 과학고등학교의 자유탐구 활동 맥락에서 학생들은 어떠한 인식적 목표와 인식적 이해를 바탕으로 탐구 활동에 참여하는지, 인식적 목표와 인식적 이해는 탐구 실행의 한 측면인 추론 복잡성과 어떠한 관련이 있는지 심층적으로 살펴봄으로써, 자유탐구가 참과학 탐구의 특성을 반영하는지를 살펴볼 필요가 있다. 그러나 대다수의 연구들은 참과학 탐구 및 자유탐구 경험을 통한 탐구능력의 향상이나 과학적

인식론의 이해 여부를 검사지를 활용하여 확인하는데 초점을 두었거나 (e.g., 김미경 & 김희백, 2007; 강은주, 김선자, & 박종욱, 2009; 조현철, 2011; 김수진 & 정영란, 2015), 탐구 활동에서 나타난 추론 수준에 대한 분석만을 제시하고 있었다(e.g., 임성철, 김진화, & 정진우, 2013; 정선희, 최현동, & 양일호, 2011). 탐구 실행을 이끈 학생 인식론과 과학적 실행과의 관련성에 대해 심층적으로 살펴본 연구는 논변활동 맥락에서 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해를 살펴본 연구(e.g., 권지숙 & 김희백, 2016; 박철진 & 차희영, 2017)와 연구 도제 프로그램 맥락에서 고등학생들의 형식적 인식론과 실행적 인식론을 살펴본 연구(e.g., Burgin & Sadler, 2013)를 제외하고는 국내외에서 거의 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 자유탐구 활동이라는 교수학습 맥락에서 나타난 과학고등학교 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해를 심층적으로 탐색하고, 이러한 인식적 목표 및 인식적 이해가 추론 복잡성과 어떠한 관련이 있는지 살펴보고자 하였다. 이러한 연구는 참과학 탐구 활동에 학생들이 참여하는 방식에 대한 심층적인 이해와 생산적인 자유탐구 지도를 위한 교육적 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

2. 연구 목적 및 연구 문제

본 연구의 목적은 자유탐구 활동을 통해 학생들이 진정한 인식적 실행에 참여할 수 있도록 지원하는 것이다. 이를 위해 자유탐구 활동에서 나타난 과학고등학교 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해가 추론 복잡성과 어떠한 관련이 있는지 심층적으로 탐색하고, 자유탐구가 참과학 탐구의 성격을 띠게 한 맥락을 살펴봄으로써 생산적인 자유탐구 지도를 위한 교육적 시사점을 도출하고자 하였다. 본 연구의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 자유탐구 활동에서 나타난 과학고등학교 학생들의 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성은 어떠한가?

둘째, 위와 같은 인식적 목표와 인식적 이해는 추론의 복잡성과 어떠한 관련이 있는가?

3. 연구의 제한점

본 연구는 자유탐구 활동에서 나타난 과학고등학교 학생들의 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 관계를 심층적으로 이해하기 위해 두 개의 초점 집단을 선정하여 사례연구를 실시하였다. 이와 관련하여 본 연구의 맥락 및 참여자는 특정 시점과 장소에서 이루어진 자유탐구 활동에 참여한 4명의 과학고등학교 학생들로 한정되어 있기 때문에, 본 연구의 결과를 모든 자유탐구 활동과 학생에 확대하여 일반화 할 수 없다.

제 2 장 이론적 배경

1. 실행에서의 인식론에 대한 연구의 흐름

많은 연구들이 탐구 활동에 참여하는 것만으로는 과학의 본성에 대한 학생들의 이해나 인식론적 신념을 변화시키기에 충분하지 않음을 밝힘에 따라(Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Bell, Blair, Crawford, & Lederman, 2003; Sandoval & Morrison, 2003), 학생의 실행을 이끄는 인식론에 대해 이해할 필요가 제기되었다. 이에 대해 Sandoval(2005)은 전문 과학에서 과학 지식과 지식의 생성에 대해 학생들이 가지는 생각을 형식적 인식론(formal epistemology)으로, 학교 과학에서 학생 자신의 지식 생성에 대한 생각이자 학생의 탐구를 이끄는 인식론을 실행적 인식론(practical epistemology)으로 구분하고, 실행적 인식론에 대한 연구의 필요성을 주장하였다.

인식론적 자원 관점을 주장하는 학자들은 개인이 다양한 맥락에 적용될 수 있는 단일한 인식론을 가지기보다는 저마다 다양한 인식론적 자원을 갖고 있으며(Hammer & Elby, 2002; Louca *et al.*, 2004), 주어진 맥락에서 무엇이 생산적인가에 관한 자신의 해석에 따라 지식 구성 활동에 참여한다고 주장하였다(Berland & Hammer, 2012b; Wickman, 2004). 또한 이러한 관점에서 수행된 연구들은 교사-학생간의 상호작용이나 그룹의 역동성 같은 학습 맥락이 실행적 인식론에 영향을 줄 수 있다고 보고(Berland & Hammer, 2012a; Scherr & Hammer, 2009), 학생이 지닌 인식론에 대한 평가가 단일한 관점에서 이루어질 수 없으며, 해당 맥락에서 활성화된 인식론적 자원의 적절성과 유용성을 바탕으로 이루어져야 한다고 주장하였다(Elby & Hammer 2001; Hammer & Elby, 2002).

이러한 관점에서 나아가 Berland 등(2016)은 과학적 실행에 참여하는 학생들의 인식적 측면을 살펴보기 위해 '실행에서의 인식론(Epistemologies in Practice: EIP)'을 분석할 수 있는 틀을 고안하였다.

EIP 분석틀은 지식 구성 활동에 참여하는 이유에 대한 학생의 인식을 보여주는 ‘인식적 목표’와 활동에 참여하는 방법에 대한 학생의 인식을 보여주는 ‘인식적 이해’의 두 가지 측면으로 구성되어 있다(Berland *et al.*, 2016). Berland 등(2016)은 학생의 실행을 이끄는 이러한 인식적 아이디어가 인식론적 자원처럼 상황에 대한 해석을 바탕으로 맥락 특이적이고 개별적인 특성을 지닌다고 보았으며, 이에 따라 학생의 인식론적 이해의 정교함을 평가할 때 맥락을 주의 깊게 고려해야 하며, 인식론적 결정에 대한 근거에 주목하는 것이 실행 기반 접근에 부합한다고 주장하였다(Berland & Crucet, 2016).

2. 참과학 탐구

2.1 참과학 탐구의 정의와 특성

참과학 탐구는 일반적으로 학교에서 이루어지는 단순화된 탐구 활동과 달리, 과학자의 연구와 같은 진정한 맥락에서 이루어지는 탐구를 말한다(Chinn & Malhotra, 2002; Crawford, 2012). 많은 연구자들은 참과학 탐구의 특성을 인지적, 인식적 측면을 중심으로 설명하였다. Fusco(2001)는 학생들이 과학 탐구에 대한 진정한 접근을 통해 과학 문화에 참여하여 과학의 목적과 절차를 정의하고 과학 지식을 산출할 수 있을 것이라고 주장하였다. 이와 비슷하게 Crawford(2012)는 학생들은 참과학 탐구를 통해 협력적, 사회적 맥락에서 자신의 과학적 질문을 탐색하고, 학습 계획을 발달시키고, 자료를 수집하고, 증거 기반의 설명을 제공하고, 자신의 설명을 과학적 설명에 연결시키고, 결과를 소통하고 방어하며, 이를 통해 과학에 대한 동기부여를 강화할 수 있을 것이라고 하였다. 또한 그는 과학자들이 생각하고 일하는 방식의 활동에 학생들이 참여함으로써 과학의 본성과 같은 인식론적 측면을 잘 이해하게 될 것이라고 주장하였다(Crawford, 2012). Chinn과 Malhotra(2002)는 단순 탐구와 구분되는 참과학 탐구의 고유한 특성을 인지과정과 인식론을 중심으로 체계적으로 분석할 수 있는 이론적 틀을 제시하였다. 특히 이들은 추론의 진정성 측면에서 참과학 탐구의 추론은 단순 탐구의 추론과는 달리 광범위하고, 복잡하고, 불확실한 특성을 지닌다고 주장하였다.

한편 참과학 탐구 활동의 의미를 정체성이나 행위주체성의 변화를 통해서도 찾을 수 있다. O'Neill과 Polman(2004)은 참과학 탐구에서 방대한 지식과 인식을 강조하는 표준화된 교수·학습 보다는 행위주체성(agency)과 행동의 변화를 촉진하는 실행 기반 접근이 중요함을 강조하였다. 이들은 학생들이 과학 연구가 왜 이루어지며, 어떻게 달성되는지 이해해야 하고, 이러한 접근이 자연세계에 대한 지식의 구성과 비판적

공동체에서의 방어에 대한 것이라고 설명하였다. 이와 관련하여 Rivera Maulucci, Brown, Grey, 그리고 Sullivan(2014)은 참과학 탐구 활동을 통한 행위주체성의 향상을 중점적으로 논의하였다. 이들은 학생들이 참과학 탐구 활동을 통해 과학 지식을 생산하고 사용하는 과정에서 적극적인 역할을 수행함에 따라, 더 나은 학술적 행위주체성 감각을 개발하고, 잠재적인 과학자로서의 정체성을 확립할 수 있다고 주장하였다.

2.2 참과학 탐구의 추론

과학적 추론 기술의 발달은 과학 교육의 주요한 목표일뿐만 아니라 (NRC, 1996), 학생들이 과학을 이해하고 과학 연구를 수행하는데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Kuhn, 1989; Lawson, 2005). Kuhn(2004)에 따르면 과학적 추론은 지식의 향상을 목적으로 하는 의식적이고 의도적인 지식 추구 과정으로, 이론과 증거를 조화시키는 과정이 과학적 추론의 핵심을 이룬다. 좀 더 구체적으로 McNeill과 Krajcik(2007)은 과학적 추론을 주장과 주장에 대한 근거를 연결하여 정당화하는 과정으로 정의하였는데, 이에 따르면 어떤 자료가 주장을 뒷받침하는 증거로 중요한 이유를 설명하는 활동 또한 과학적 추론이라 할 수 있다.

한편, Chinn과 Malhotra(2002)는 변인 통제, 자료 설명하기, 증거 제공하기와 같은 일반적인 과학적 추론의 특성과 구분되는 참과학 추론만의 고유하고 핵심적인 특성을 체계적으로 정리할 필요성을 제기하였다. 이들은 참과학 탐구의 인지과정에서 학생들은 자신의 연구 질문을 스스로 생성하고, 다양한 변인을 선택하거나 고안하여 실험을 설계하며, 복잡한 추론 과정을 통해 관찰과 연구 질문을 연결하는 반면, 단순 탐구의 인지과정에서는 학생들에게 연구 질문이 주어지고, 1~2개의 변인으로 실험을 설계하며, 관찰과 연구 질문을 바로 연결한다고 하였다(Chinn & Malhotra, 2002). 게다가 참과학 탐구에서는 비(非)알고리즘적인 복잡하고 불확실한 추론과 다양한 논변이 나타나는 반면, 단순 탐구에서는 하

나의 실험으로부터 결론을 이끌어내는 확실한 알고리즘적인 추론과 단순 대조적인 논변이 나타난다고 주장하였다. 이들은 인지과정에서 추론수준을 포함한 이러한 차이가 단순 탐구와 참과학 탐구의 인식론에 차이에서 비롯된다고 주장하였다(표 1). 이들은 학교 현장에서 주로 이루어지는 단순 탐구는 알고리즘적인 추론과 같은 단순한 추론을 주로 학생이 경험하게 하며, 이를 통해 과학에 대해 잘못된 인식론을 가질 수 있음을 지적하였다. 따라서 이들은 학생들에게 과학 공동체에서 이루어지는 것과 같은 인식론적으로 진정한 추론을 경험할 수 있는 참과학 탐구 과제를 제공해야 한다고 주장하였다(Chinn & Malhotra, 2002).

Dolan과 Grady(2010)는 Chinn과 Malhotra(2002)의 연구를 바탕으로 탐구 활동에서 나타나는 과학적 추론의 복잡성 수준을 평가하는 기준(Matrix for Complexity of Scientific Reasoning during Inquiry: CSRI Matirix)을 제시하였다(표 5). 이들은 탐구 활동에 참여하는 학생들이 인식론적 진정성의 측면에서 높은 수준의 추론에 참여하는지를 판단하기 위해 CSRI 틀을 개발하였다. CSRI 틀은 추론의 복잡성 수준을 4개로 구분하여 의문생성, 가설설정, 연구 설계와 수행, 결과 설명의 각 인지과정별로 해당 복잡성 수준에서 나타날 수 있는 추론 활동의 특성을 상세하게 제시한다.

[표 1] 참과학 탐구, 단순 실험, 단순 관찰, 단순 설명의 인식론(Chinn & Malhotra, 2002)

인식론의 차원	추론 과정의 유형		
	참과학 탐구	단순 실험	단순 관찰
연구의 목적	<ul style="list-style-type: none"> • 관찰할 수 없는 메커니즘에 관한 이론적 모델을 구성하고 수정하려 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 단순 표면 수준의 규칙성을 알아내려 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 대상의 구조를 관찰하려 한다. • 제공된 이론을 이해하려 한다.
이론-자료의 조정	<ul style="list-style-type: none"> • 복잡하고 부분적으로 충돌하는 자료를 가지고 이론적 모델을 조정한다. • 전체적인 일관성을 추구한다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 관찰 가능한 결과에 관한 결론을 가지고 한 세트의 관찰 가능한 결과들을 조정한다. • 기껏해야 부분적인 일관성을 추구한다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 본 것을 기록한다. • 기껏해야 부분적인 일관성을 추구한다. • 이론-자료간의 조정이 없다.
방법의 이론 의존성	<ul style="list-style-type: none"> • 방법은 부분적으로 이론에 의존한다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 방법에 이론이 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 방법에 이론이 없다.
변칙 자료에 대한 반응	<ul style="list-style-type: none"> • 변칙 자료를 합리적이고 규칙적으로 무시한다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 변칙 자료를 이성적으로 무시할 만한 시야가 거의 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 변칙 자료를 이성적으로 무시할 만한 시야가 거의 없다. • 자료는 예상에 모순되는 틀린 결과로서 거부된다.

[표 1] 계속

<p>● 발견적이고 알고리즘적이지 않은 추론을 사용한다.</p> <p>● 여러 개의 수용 가능한 논변 형태를 사용한다.</p> <p>● 추론이 불확실하다.</p>	<p>● 하나의 실험으로부터 결론을 이끌어내는 알고리즘적인 추론을 사용한다.</p> <p>● 단순 대조적인 논변을 사용한다.</p> <p>● 추론이 확실하다.</p>	<p>● 시각적 구조에 관한 다양한 추론 방식을 사용한다.</p> <p>● 종종 논변을 구성하지 못한다.</p> <p>● 추론이 확실하다.</p>	<p>● 이론과 자료를 연결하는 제공된 설명을 이해한다.</p> <p>● 논변을 구성하지 못한다.</p> <p>● 추론이 확실하다.</p>
<p>● 협력적 그룹에서 지식을 구성한다.</p> <p>● 많은 과학자들에 의해 사전에 수행된 연구에 바탕을 둔다.</p> <p>● 제도적 기준이 전문가 검토 과정과 연구의 본보기 모델을 통해 확립된다.</p>	<p>● 협력적 그룹에서 지식을 구성한다.</p> <p>● 선행 연구에 좀처럼 바탕을 두지 않는다.</p> <p>● 제도적 기준을 설정하는 절차가 없다.</p>	<p>● 협력적 그룹에서 지식을 구성한다.</p> <p>● 선행 연구에 좀처럼 바탕을 두지 않는다.</p> <p>● 제도적 기준을 설정하는 절차가 없다.</p>	<p>● 협력적 그룹에서 지식을 구성한다.</p> <p>● 선행 연구에 좀처럼 바탕을 두지 않는다.</p> <p>● 제도적 기준을 설정하는 절차가 없다.</p>

3. 자유탐구

3.1 자유탐구의 정의와 필요성

자유탐구 활동은 학교의 기존 탐구 활동이 학생에 의해 주도되기보다는 교사의 주도에 의해 안내된 절차를 따르도록 수행된다는 지적에 따라 2007 개정 과학과 교육과정에서 처음 도입된 활동이다(교육과학기술부, 2008). 2007 개정 과학과 교육과정에 따르면 자유탐구는 학생 스스로 관심 분야의 주제를 선택하여 장기간의 탐구를 수행함으로써, 과학에 흥미를 갖고, 과학 학습과 탐구를 강화하고, 과학 분야의 진로를 추구할 수 있도록 돕는 활동이다(교육과학기술부, 2008). 따라서 자유탐구 활동을 통해 학생이 자신의 탐구를 주도함으로써 참과학 탐구에서와 같은 과학공동체의 인식적 실행을 경험할 것을 기대할 수 있다.

3.2 자유탐구와 인식론의 연관에 대한 선행연구

자유탐구 혹은 참과학 탐구 경험과 학생이 지니는 인식론의 연관에 관해 국내외에서 많은 선행연구가 이루어졌다. 김미경과 김희백(2007)은 과학고 학생이 개방적 참탐구 활동을 통해 변칙 데이터와 추론의 불확실성 등 참과학의 인식론이 반영된 질문을 제기하였으며, 이를 통해 과학적 인식론을 이해할 수 있을 것이라고 보고하였다. 강은주, 김선자, 그리고 박종욱(2009)은 초등과학 영재학생의 개방적 탐구 활동에서 참과학 탐구의 인식론적 특징인 이론 의존성과 지식의 사회적 구성이 나타났다고 밝혔다. 민진선(2011)은 과학고 학생의 유전자 변형 작물 판정 탐구 수행에 대한 연구에서 인식론적 목적을 제시한 학생의 수는 적었으며 많은 학생이 데이터 분석 과정에서 단순한 추론 유형을 나타냄에 따라 학생들에게 참과학 탐구 문제를 제공하는 것만으로 참과학 탐구의 인식론

이 나타나지 않았다고 밝혔다. 조현철(2011)은 인식론적 신념 검사지를 활용한 연구에서 과학영재학생은 일반학생에 비해 “단순 확실한 지식”과 “정해진 학습능력”에 대해서는 좀 더 성숙한 인식론적 신념을 보였으나 “권위에의 순응”에 대해서는 두 집단 사이에 유의미한 차이가 나타나지 않음에 따라 과학영재들이 독립적인 탐구를 수행할 필요가 있음을 제시하였다. 김수진과 정영란(2015)은 검사지를 활용한 연구에서 구성주의적 인식론적 신념을 갖고 메타인지를 많이 활용할수록 탐구 능력이 향상될 수 있음을 밝혔다.

제 3 장 연구 방법 및 절차

1. 연구 참여자

본 연구의 참여자는 2017년 3월부터 2017년 7월 중순까지 약 5개월에 걸쳐 서울시 소재 S 과학고등학교의 교내 자유탐구에 참여한 12명의 학생과 해당 학생들의 지도교사 1명이다. 연구 참여자 중 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성이 뚜렷하게 구분되는 연구 참여자들을 초점 집단으로 선정하였다. 초점 집단의 학생들은 생명과학 영역의 연구를 수행한 두 팀의 구성원으로 각 팀은 2명의 2학년 남학생으로 구성되어 있었으며, 생명과학에 대한 흥미를 바탕으로 연구자의 진로를 공통적으로 희망하고 있었다. 또 이들은 모두 1학년 때 2번의 자유탐구와 외부 연구소에서의 R&E를 경험하여 연구 활동에 대해 비슷한 사전 경험을 가지고 있었다(표 2). 초점 집단의 명칭은 각 팀의 연구 재료를 바탕으로 ‘선충 팀’과 ‘DNA 팀’으로 표시하였고, 연구 참여자의 익명성을 보장하기 위해 학생의 이름은 가명으로, 연구에 쓰인 특정 물질의 이름은 이니셜(e.g., 물질 A, 물질 B)로 표시하였다. 연구 초반에 선충 팀의 연구 주제는 특정 물질 A와 물질 B의 수명 연장 메커니즘에 관한 것이었고, DNA 팀의 연구 주제는 특정 물질 C의 DNA 손상 보호 메커니즘에 관한 것이었으며, 학생들의 학업 성취도는 이들이 과학고등학교에 재학 중인 점을 고려하여 일반적인 고등학생과 비교했을 때 모든 학생이 비교적 상위권에 해당한다는 점에서 두 팀의 팀원 구성과 연구 과제의 성격은 비슷한 출발점에 있다고 판단하였다.

연구자는 초점 집단의 자유탐구 지도를 맡아 충분한 접근성을 바탕으로 학생들과 수시로 소통하고, 자료 수집과 분석 과정에서 내부자적 관점에서 현상을 깊이 있게 이해하고자 하였다. 연구자이자 참여관찰자인 지도교사는 생물교육학 학사 학위를 가진 경력 8년차의 생명과학 교사로서 S 과학고등학교에 재직 중인 5년 동안 자유탐구, R&E, 외부 탐구대회를

지도하는 등 다수의 학생 연구지도 경험을 갖고 있었다.

[표 2] 초점 집단 학생들의 주요 특징

선충 팀		DNA 팀		
구성원	진우	현준	도영	민재
	의학자			
장래	또는	생명공학	분자생물학	화학생명공학
희망	생명과학	연구자	연구자	연구자
	연구자			
과학	• 생명과학	• 정보 분야	• 생명과학	• 화학 분야
및	분야 R&E	R&E	분야 R&E	R&E
연구	• 외부 과학	• 외부 과학	• 과학 관련	• 중학생 때
관련	관련 강연	관련 경험	독서 활동	대학 부설
경험	참여 경험	적음	풍부	영재교육원
	풍부			교육 경험
연구 주제	초반	물질 A 유무와 물질 B 농도에 따른 선충의 생식력, 선호도, 수명 조사		
	후반	물질 A 유무와 물질 B 농도에 따른 선충의 선호도 및 세포의 생존율		
		DNA 손상 보호의 메커니즘		
		DNA의 산화적 손상에 대한 물질 C의 억제 효과와 억제 메커니즘		

2. 연구 맥락

본 연구의 자유탐구 활동은 해당 학교에서 창의적 체험 활동의 일환으로 1주에 약 1시간에 해당하는 시간을 확보하여 실시되었으며, 해당 학교의 1~2학년 학생 전원은 2명이 1팀을 이루어 자유탐구에 참여하고 있었다. 그러나 교육과정에 공식적으로 확보된 시간은 자유탐구 전 과정 중에서도 실질적인 실험 수행이 이루어지는 ‘집중 탐구 수행 기간’에 최소한으로 배정된 것이었으므로, 학생들은 이 시간 외에도 방과 후 시간이나 쉬는 시간 등을 활용하여 ‘문헌 검색, 자료 정리, 논문 작성 및 발표 준비’ 등의 과업을 수행하였다. 해당 학교에서 자유탐구 활동의 공식 명칭을 ‘과제연구’로 지칭함에 따라 학생들도 관련 활동이나 소재를 가리킬 때 ‘연구 주제, 연구 계획서, 연구 노트, ...’와 같이 ‘연구’라는 명칭을 사용하였다.

자유탐구의 활동 시기는 인식의 대상인 주요 과업과 활동의 성격에 따라 ‘입문 시기, 수행 시기, 발표 시기’의 3개 시기로 구분하였다(표 3). 입문 시기에 학생들은 주제를 선정하고, 선행 연구, 이론적 내용, 실험 기구 및 실험 방법 등을 조사하여 학교에서 수행 가능한 실험 위주로 탐구를 설계하였다. 수행 시기에는 하루에 약 7시간씩 5일 동안 실험을 수행하고, 자료를 수집하는 등 집중적인 탐구 수행이 이루어졌다. 발표 시기에 학생들은 팀원 간 논의를 바탕으로 자료를 분석하여 논문을 작성하였으며, 동료 및 교사를 대상으로 구두 발표를 수행하였다.

[표 3] 자유탐구 활동 시기별 주요 과업과 활동

시기	주요 과업	주요 활동
입문 시기 (2017.03 ~2017.04)	주제 선정 및 실험 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 논문작성, 연구윤리 및 안전사항에 대한 사전 교육, 자유탐구 팀 구성(2인 1팀), 지도교사 배정 • 연구 주제 선정, 연구 계획서 작성: 선행연구, 이론적 내용, 실험방법 조사 • 학교 실험실에서 사용 가능한 기자재 확인, 각 팀에 필요한 실험 기자재 및 소모품 신청
수행 시기 (2017.05)	실험 수행 및 자료 수집	<ul style="list-style-type: none"> • 선충 팀: 선충 배양, 배지 특성에 따른 선충의 개체 수 측정, Bradford assay, Western blotting, 위 상피세포 배양, CCK assay(세포 생존율 측정) • DNA 팀: DNA 추출, 다양한 물질 B 추출물을 처리한 DNA 시료의 흡광도 측정
발표 시기 (2017.06 ~2017.07)	자료 해석 및 결과 발표	<ul style="list-style-type: none"> • 자료 해석 및 논의, 논문 작성 • 발표 자료 제작, 동료 및 교사 대상의 구두 발표

S 과학고등학교의 생명과학 실험실에는 다양한 생명과학 연구를 수행할 수 있는 첨단기자재와 설비가 갖추어져 있었고, 일정 예산 내에서 각 팀의 연구에 필요한 물품의 지원이 이루어졌다. 연구의 특성에 따라 지도교사의 승인과 외부 대학교나 연구소의 협조를 얻어 학교 이외의 장소에서 연구를 수행하는 것이 허용되었다. 지도교사는 입문 시기에 연구 계획서 작성 시 고려해야 할 사항에 대한 체크리스트를 제공하였으며, 매 활동 시기에 학생 활동에 대한 피드백을 제공하였다. 특히 학생이 어

려움이나 문제를 호소하는 경우, 직접적인 해결책을 제시하기 보다는 학생이 스스로 해결방안을 도출할 수 있도록 조언자의 역할을 수행하고자 하였다. 또한 지도교사는 학생 자신의 자유탐구 수행과 관련한 인식적 측면을 잘 드러낼 수 있도록 반 구조화된 질문이 제시된 연구 성찰일지를 개발하여 학생들에게 제공하였다. 학생들은 자유탐구 틈틈이 4회에 걸쳐 연구 성찰일지를 작성하며 ‘연구 주제 선정의 이유와 가치, 자료 해석 및 평가의 기준, 결론을 확신하는 이유, 논리성을 갖춘 과학적 설명을 구성한 방법, 결론에 대한 평가, 연구를 통해 배운 점’ 등을 자유롭게 표현하였다. 학기말에 지도교사 간 협의를 통해 학생들의 결과 발표, 논문 및 전체 자유탐구 활동에 대한 3단계의 평가 등급이 부여되었다.

3. 자료 수집

본 연구는 분명한 경계를 가진 사례에 대한 심층적인 이해를 제공하고자 하는 목적을 가지고, 사례연구(Yin, 2009)를 연구 방법론으로 선택하였다. 이를 위해 자유탐구 활동이 이루어지는 약 5개월 동안 학생 면담, 자유탐구 활동에 대한 참여관찰 자료, 학생이 작성한 자료(e.g., 연구 계획서, 연구 노트, 연구 성찰일지, 논문, 과학의 본성에 대한 활동지) 등 폭넓은 출처의 자료를 수집하였다(Merriam, 1988). 활동에 참여하는 학생의 인식적 측면과 추론 복잡성을 탐색하기 위해 학생의 자유탐구 활동은 팀 별로 약 6시간 분량의 활동이 녹화 및 녹음 되었다. 지도교사 면담은 팀 별로 총 4회씩, 1회에 1시간가량 이루어졌으며 면담 내용은 녹음되었다. 모든 녹화와 녹음은 학생과 보호자의 동의하에 진행되었다. 면담의 주된 내용은 자유탐구의 목적과 의미, 특정 실행에 대한 이유, 자유탐구에 대한 인식, 자신의 탐구 수행에 대한 평가, 만족했던 점, 어려웠던 점과 그것의 해결방법, 팀원 간 의사소통 방식에 대한 것이었고 이는 주된 연구 자료로 활용되었다. 연구자는 녹음, 녹화된 자료를 전사하였고 담화 맥락을 파악할 수 있도록 표정과 행동을 함께 기록하였다.

4. 자료 분석

탐구 활동 시기의 인식의 대상인 주요 과업과 활동 성격에 따라 학생들의 인식적 목표, 인식적 이해 및 추론의 복잡성에도 차이가 나타날 것이라는 가정 하에 3개의 활동 시기별로 사례를 분석하였다. 각 사례 내에서 주요 이슈들을 확인한 후 사례를 상세하게 기술하였고, 사례 내의 주제와 사례들에 걸쳐 있는 주제를 분석하였으며, 사례의 의미에 대한 주장이나 해석을 해당 사례의 맥락과 함께 제시하였다(Yin, 2009; Merriam, 1988). 분석틀을 활용한 인식적 목표, 인식적 이해 및 추론의 복잡성의 분석은 다음과 같이 수행하였다.

4.1 인식적 목표와 인식적 이해 분석

학생의 인식론은 Berland 등(2016)이 제시한 실행에서의 인식론에 대한 분석틀을 참고하여 인식적 목표와 인식적 이해의 두 가지 측면을 분석하였다. 이러한 인식적 측면은 맥락에 따라 변화하는 특성을 지니므로 맥락을 중요하게 고려하여 해석하였다(Berland & Crucet, 2016). 먼저 인식적 목표의 경우 학생들이 활동의 이유를 ‘학교 교육활동에 포함되어 있으므로 따라야 하는 것’ 혹은 ‘좋은 평가를 받는 것’에서 찾은 경우는 ‘수업 따라 하기(doing the lesson)’ 혹은 ‘정답 찾기’와 같은 인식적 목표를 가진 것으로 해석하였다. 반면 활동의 이유를 ‘특정 현상이 어떻게 그리고 왜 일어나는지 이해하기 위한 것’에서 찾은 경우는 과학 공동체의 인식적 목표와 일치하는 ‘과학하기(doing the science)’ 혹은 ‘과학적 의미 형성(scientific sensemaking)’과 같은 인식적 목표를 가진 것으로 해석하였다(Berland *et al.*, 2016; Jimenez-Aleixandre, Rodriguez, & Duschl, 2000).

인식적 이해는 [표 4]에 제시된 지식 산물의 ‘본성(nature)’, ‘일반성(generality)’, ‘정당화(justification)’, ‘청중(audience)’의 네 가지 측면에서 활동에 참여하는 방법에 대해 학생들이 가질 수 있는 인식적 이해를 참

고하여 분석하였다(Berland *et al.*, 2016). 첫 번째 측면인 ‘본성’은 지식 산물이 제공해야 하는 정답의 종류에 관한 것으로 학생들은 탐구를 통해 관찰한 현상을 자세하게 묘사하려 할 수도 있고, 현상이 어떻게 그리고 왜 일어났는지에 대해 단계적인 메커니즘을 표현하려 할 수도 있다. 두 번째 측면인 ‘일반성’은 지식 산물과 다른 과학 현상 또는 일반화된 아이디어와의 연관에 관한 것이다. 학생들은 자료를 해석할 때 특정한 현상만을 설명하려 할 수도 있고, 특정 현상을 일반적인 과학 아이디어나 다른 과학 현상과 관련지으려 할 수도 있다. 세 번째 측면인 ‘정당화’는 지식 산물의 아이디어를 정당화 하는 방법에 대한 것이다. 학생들은 유용한 정보에 대한 자신들의 해석을 바탕으로 자신들이 구성한 아이디어를 정당화 할 수도 있고, 자신들의 해석을 사용하여 정당화 할 필요를 인식하지 못하고 교사나 교과서의 권위에 기대어 정당화 할 수도 있다. 네 번째 측면인 ‘청중’은 지식 산물의 사용과 평가에 관한 것이다. 학생들은 자신들을 청중과 협력적인 지식 산물의 구성자 또는 평가자로 인식할 수도 있고, 교사에 의해 평가받는 것으로 인식할 수도 있다. Berland 등 (2016)은 청중의 범위에 동료, 교사, 학생 자신이 모두 포함될 수 있다고 보았으며, 본 연구에서는 이에 더해 과학 공동체도 포함될 수 있다고 보았다. 연구자는 이와 같은 방법을 통해 인식적 이해를 질적으로 기술하고자 하였을 뿐만 아니라, 박철진과 차희영(2017)의 분석처럼 인식적 이해의 수준을 분석하여 수준의 변화나 차이에 대한 경향을 파악하고자 하였다.

[표 4] 실행에서의 인식론에서 나타날 수 있는 인식적 이해(Berland *et al.*, 2016)

인식적 이해	학생들이 나타낼 수 있는 인식적 이해
우리의 지식 산물이 제공하는 답은 어떤 종류의 것이어야 하는가? (본성)	<ul style="list-style-type: none"> • 우리의 지식 산물은 무엇이 일어났는지 자세하게 묘사해야 한다. (낮은 수준) • 우리의 지식 산물은 무슨 일이 어떻게 또는 왜 일어났는지 설명해야 한다. 즉, 그것은 단계적인 메커니즘을 표현해야 한다. (높은 수준)
우리의 지식 산물은 다른 과학 현상과 아이디어에 어떻게 관련되는가? (일반성)	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 과학 현상들은 서로 관련되지 않으므로, 우리의 지식 산물은 개별 현상에 대한 본성의 특징을 묘사해야 한다. (낮은 수준) • 일반화된 과학적 아이디어들은 구체적인 경험이나 현상과 거의 관련성이 없으므로, 우리의 지식 산물은 이러한 사고방식과 관련되어서는 안 된다. (낮은 수준) • 우리의 지식 산물은 다양한 현상으로부터 오고 이를 설명해야 하므로 이와 연관성을 나타내야 한다. (높은 수준)
우리는 어떻게 지식 산물 속 아이디어를 정당화 하는가? (정당화)	<ul style="list-style-type: none"> • 우리는 다른 사람들이 포함시키라고 한 정보를 우리의 지식 산물에 포함시킨다(따라서 이것은 정당화 될 필요가 없다). (낮은 수준) • 우리는 이용 가능한 정보에 대한 해석을 바탕으로 우리의 지식 산물을 구성하고, 평가하고, 정당화한다(예: 자료, 과학 이론, 개인적 경험 등). (높은 수준)
우리의 지식 산물을 누가, 어떻게 사용하는가? (청중)	<ul style="list-style-type: none"> • 우리의 지식 산물은 우리의 이해를 평가하려는 교사를 위한 것이다. (낮은 수준) • 우리는 우리의 청중과 협력적으로 우리의 지식 산물을 구성하고 사용한다. (높은 수준)

4.2 추론의 복잡성 분석

추론 사례의 동정 및 추론의 복잡성에 대한 분석은 Corbin, Strauss, 그리고 Strauss(2014)의 근거 이론에 기초를 둔 지속적 비교 분석법과 [표 5]에 제시된 Dolan과 Grady(2010)의 탐구 활동에서 나타나는 과학적 추론의 복잡성에 대한 틀(Matrix for Complexity of Scientific Reasoning during Inquiry: CSRI Matirix)을 바탕으로 수행하였다. CSRI 틀은 탐구 활동의 인지과정별로 나타나는 추론의 복잡성 수준을 4개 수준으로 구분하여 인식적 측면을 상세하게 나타내고 있어, 추론 사례를 범주화하고 추론의 복잡성을 분석하는 기준으로 적합하다고 판단하였다. 연구자는 전사 자료, 연구 성찰일지, 논문, 발표 자료 등 수집된 자료에서 추론 활동으로 분석되는 사례를 활동 시기별로 추출하여 귀납적으로 분석하였다. 이렇게 분석된 사례들은 공통적인 주제 하에 다시 범주화되고 명명되었으며, 이러한 과정은 모든 자료가 포화될 때까지 반복되었다. 이러한 과정을 거쳐 추론의 복잡성을 분석한 결과는 활동 시기별로 추론 활동이 나타난 인지과정(e.g., I. 의문 생성, II. 예비 가설 설정, III. 연구 설계와 수행-A. 독립 변인과 종속 변인의 선택, IV. 결과 설명-A. 자료 제시의 의미 고려)과 해당 추론의 복잡성 수준(1수준~4수준)을 함께 제시하였다. 예컨대 학생이 자신이 직접 생성한 의문을 바탕으로 탐구를 수행하며, 추가적인 의문을 생성하는 추론을 나타낸 경우 인지과정은 ‘I. 의문생성’에 해당하고, 추론의 복잡성 수준은 ‘4수준’에 해당하는 것으로 판단하여 ‘I-4수준’으로 나타내었다.

과학 교육 연구자들 간의 논의를 통해 인식적 목표와 인식적 이해의 해석 기준, 추론 사례의 범주화 기준, 추론의 복잡성 평가 기준을 구체화하여 연구자의 자의적인 해석을 최소화 하고자 하였고, 전사 자료, 참여 관찰 자료, 학생이 작성한 인공물 등 다양한 출처의 자료에 대해 삼각검증을 수행하였으며, 연구 참여자 검토를 통해 연구의 타당도와 신뢰도를 높이하고자 하였다.

[표 5] 탐구 활동에서 나타나는 과학적 추론의 복잡성에 대한 틀(Dolan & Grady, 2010)

인지 과정	과학적 추론에 대한 복잡성 증가 정도			
	덜 복잡함(1수준)	다소 복잡함(2수준)	많이 복잡함(3수준)	매우 복잡함(4수준)
I. 의문 생성	중요한 연구 의문이 제공된다. 학생들은 탐구를 수행하는 동안 다른 의문을 생성하거나 탐색하지 않는다.	중요한 연구 의문에 제공된다. 학생들은 탐구를 수행하는 동안 관찰에 바탕을 두어 다른 의문을 생성하거나 탐색한다.	중요한 연구 의문이 제공 된다. 학생들은 탐구를 수행하는 동안 관찰과 연구 주제에 대한 더욱 포괄적인 탐색에 바탕을 두어 다른 의문을 생성하고 탐색한다.	학생들은 자신의 연구 의문을 생성한다. 탐구를 수행하는 동안 관찰과 연구 주제에 대한 더욱 포괄적인 탐색에 바탕을 두어 다른 의문을 생성하고 탐색한다.
II. 예비 가설 설정	학생들은 예비 가설이 없거나 연구 문제에 대한 선행 연구 수행 없이 검증할 수 없거나 관련되지 않은 가설을 설정한다.	학생들은 연구 문제에 대한 선행 연구 수행 없이 연구 문제와 관련이 있고 검증 가능한 예비 가설을 설정한다.	학생들은 연구 문제에 대한 선행 연구에 바탕을 두어 관련이 있고 검증 가능한 예비 가설을 설정한다.	학생들은 연구 문제에 대한 선행 연구에 바탕을 두어 관련이 있고, 검증 가능하며 반증 가능한 예비 가설을 설정한다.

[표 5] 계속

<p>III. 연구 설계 와 수행 A. 독립 변인 과 종속 변인 의 선택</p>	<p>학생들은 변인 선택에 대한 이유가 없다.</p>	<p>학생들은 변인 선택에 대해 제한된 이유를 가진다.</p>	<p>학생들은 변인 선택에 대해 세심하게 고려하며 비전문적인 이유를 가진다.</p>	<p>학생들은 변인 선택에 대해 세심하게 고려하며 과학적 이유를 가진다.</p>
<p>B. 실험 통제 의 고려</p>	<p>학생들은 통제 설계에 주의를 기울이지 않는다.</p>	<p>학생들은 통제 설계에 최소한으로 주목한다.</p>	<p>학생들은 통제 설계에 약간의 주의를 기울인다.</p>	<p>학생들은 통제 설계에 의도적이고, 집중적인 주의를 기울인다.</p>

[표 5] 계속

IV. 결과 설명 A. 자료 제시 의 의미 고려	학생들에게 형식화된 표로 된 자료가 제공되지만 자료의 의미 있는 제시 방법에 대해 고려하지 않는다.	학생들은 자료 제시의 의미를 조금 고려하면서 자신의 표를 설계한다.	학생들은 자료 제시의 의미를 조금 고려하면서 표, 그림, 그래프, 사진, 통계 수치 등을 포함하는 다양한 방식으로 자료를 제시한다.	학생들은 자료 제시의 의미를 세심하게 고려하면서 표, 그림, 그래프, 사진, 통계 수치 등을 포함하는 다양한 방식으로 자료를 제시한다.
B. 실험의 한계점 또는 결점에 대한 고려	학생들은 실험의 결점이나 한계점을 보고하거나 고려하지 않는다.	학생들은 탐구 후에 실험의 결점이나 피상적인 한계점을 고려하고 이러한 한계점이나 결점을 구두나 글로 보고한다.	학생들은 탐구 중에 실험의 한계점이나 결점에 대해 세심하게 고려하나, 탐구를 조절하지 않는다. 학생들은 이러한 한계점을 구두나 글로 보고한다.	학생들은 탐구 중에 실험의 한계점이나 결점에 대해 세심하게 고려하고 이에 따라 탐구를 조절한다.

[표 5] 계속

<p>C.</p> <p>자료와 연구의 연결</p>	<p>학생들은 자료와 연구의 연결을 잇지 않는다.</p>	<p>학생들은 주요 연구의 문헌에 대해 답하기 위해 자료를 사용한다.</p>	<p>학생들은 주요 연구의 문헌과 자료를 연결하고자 다른 추론 형태(예, 대조적, 연역적, 귀납적 추론)를 사용한다. 추론은 여러 연결 층을 포함하는 추론을 필요로 한다.</p>	<p>학생들은 주요 연구의 문헌과 자료를 연결하고자 다른 추론 형태(예, 대조적, 연역적, 귀납적 추론)를 사용할 뿐만 아니라, 다른 연구의 결과를 사용한다. 추론은 여러 연결 층을 포함하는 추론을 필요로 한다.</p>
<p>D.</p> <p>후속 연구를 위한 제언의 제공</p>	<p>학생들은 후속 연구를 위한 제언이나 부가적인 가설을 제기하지 않는다.</p>	<p>학생들은 후속 실험을 위한 피상적인 제언이나 관련되지 않은 가설을 제기한다.</p>	<p>학생들은 후속 실험을 위해 관련된 제언이나 부가적이고, 타당하고 검증 가능한 가설을 제기한다.</p>	<p>학생들은 후속 실험을 위해 타당하고 검증 가능한 가설을 포함하여 관련된 제언을 한다.</p>

[표 5] 계속

E. 의사 소통 과 연구 결과 방어	학생들은 구두나 글로 자신들의 결과에 대해 소통하거나 방어하지 않는다.	학생들은 구두나 글로 자신들의 결과에 대해 소통하거나 방어하는 데 제한된 주의를 기울인다.	학생들은 자신들의 결과에 대해 소통하거나 방어하는 데 구두나 글로 소통한다.	학생들은 구두나 글로 자신들의 결과에 대해 소통한다. 학생들은 자신들의 결과를 방어하기 위해 논리적인 논변을 사용한다.
---------------------------------------	---	--	--	--

제 4 장 연구 결과 및 논의

자유탐구 활동에서 나타난 과학고등학교 학생들의 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성을 분석한 결과를 [표 6]에 제시하였다. 학생들의 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성은 활동 시기의 인식의 대상에 따라 차이가 있었으며, 인식적 목표와 인식적 이해는 추론의 복잡성에 영향을 미쳤다.

선충 팀은 자유탐구 전체 활동 시기 동안 높은 수준의 인식적 목표인 ‘과학적 의미 형성’을 나타냈으며, 인식적 이해도 이와 비슷한 경향을 나타냈다. 입문 시기에 정당화에 대해 낮은 수준의 인식적 이해와 청중에 대해 복합적인 인식적 이해가 나타난 것을 제외하면, 전 시기에 거의 모든 측면에서 높은 수준의 인식적 이해가 나타났으며, 추론의 복잡성도 3 수준 또는 4수준으로 대체로 높게 나타났다.

DNA 팀의 인식적 목표는 입문 시기에는 ‘과학적 의미 형성’에 있었지만 수행 시기에 낮은 수준의 인식적 목표인 ‘정답 찾기’로 전환되었고, 인식적 이해는 활동 시기에 따라 유동적인 경향을 나타냈다. 지식 산물의 본성에 대한 인식적 이해는 전체 활동 시기 동안 높은 수준으로 나타났으나, 일반성과 청중에 대한 인식적 이해는 시기별로 높은 수준과 낮은 수준을 오가며 변화하였다. 정당화에 대한 인식적 이해는 계속해서 낮은 수준으로 지속되었다. 추론의 복잡성은 ‘과학적 의미 형성’의 인식적 목표를 나타낸 입문 시기에는 대체로 높게 나타났지만, ‘정답 찾기’의 인식적 목표로 전환된 수행 시기부터는 다수의 항목에서 2수준을 나타내는 등 비교적 낮게 나타났다.

활동 시기별로 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성을 분석한 결과를 다음 절에 제시하였다. 특히 인식적 이해의 경우, 활동 시기에 따라 수준이 변화하였거나, 두 팀에서 뚜렷한 수준 차이를 나타낸 정당화와 청중에 대한 인식적 이해를 중심으로 분석 결과를 제시하였다.

[표 6] 활동 시기별 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성

범주	입문 시기 : 주제 선정 및 실험 설계		수행 시기 : 실험 수행 및 자료 수집		발표 시기 : 자료 해석 및 결과 발표	
	선충 팀	DNA 팀	선충 팀	DNA 팀	선충 팀	DNA 팀
인식적 목표	높음	높음	높음	낮음	높음	낮음
본 성	높음	높음	높음	높음	높음	높음
인 식 적 이 해	높음	높음	높음	낮음	높음	높음
정 당 화	낮음	낮음	높음	낮음	높음	낮음
청 중	높음 /낮음	낮음	높음	높음	높음	낮음
추 론 의 복 잡 성	I-4수준, II-3수준, III.A-3수준, III.B-3수준, IV.B-1수준	I-4수준, II-3수준, III.A-3수준, III.B-3수준, IV.B-1수준	III.A-4수준, III.B-4수준, IV.B-4수준, IV.E-3수준	III.B-3수준, IV.B-2수준, IV.E-2수준	IV.A-4수준, IV.B-4수준, IV.C-4수준, IV.D-3수준, IV.E-4수준	IV.A-2수준, IV.B-2수준, IV.C-3수준, IV.D-1수준, IV.E-2수준

1. 입문 시기: 주제 선정 및 실험 설계

두 팀의 학생들은 입문 시기에 탐구 주제를 선정하고 실험을 설계하였다. 이 시기에 두 팀은 공통적으로 ‘과학적 의미 형성’에 인식적 목표를 두었으며, 본성과 일반성 측면의 인식적 이해에서 높은 수준을 보인데 비해, 정당화와 청중 측면의 인식적 이해에서는 낮거나 복합적인 수준을 나타내는 등 전반적으로 비슷한 인식적 목표와 인식적 이해를 나타냈다. 두 팀의 추론의 복잡성은 공통적으로 ‘실험의 한계점 또는 결점에 대한 고려’ 항목에서 1수준을 나타낸 것을 제외하면 나머지 항목에서 3수준이나 4수준의 추론을 나타냄에 따라 전반적으로 높은 수준을 보였다.

선충 팀은 자유탐구의 목적으로 ‘물질 A과 물질 B가 어떠한 메커니즘을 통해 수명에 영향을 미치는지 알아보는 것’을 제시하고, 이에 의거하여 탐구를 설계하는 등 인식적 목표를 ‘과학적 의미 형성’에 두었다. 이들은 연구 주제를 선정하는 과정에서 “아직 막 어떤 걸 하겠다고 정확하게는 세분화를 못 시켰는데, 찾던 중에 재미있는 거, 해보고 싶은 거 몇 개가 보이기는 했었어요(진우, 1차면담)”라며 자신들의 관심사가 주제 선정의 중요한 기준임을 밝혔다. 이 과정에서 진우는 ‘당뇨병 치료제로 쓰이는 물질인 물질 A가 수명연장에 미치는 영향에 관한 연구’에 대한 뉴스에 흥미를 가진 것에서 출발하여 선행연구 조사를 바탕으로 ‘물질 A 유무와 물질 B 농도에 따른 선충의 생식력, 선호도, 수명 조사’라는 초기 연구 주제를 세워 해당 현상이 어떻게 일어나는지 알아보려 하였다(Ⅱ-3 수준). 이들은 연구계획서의 이론적 배경에 효소의 작용, 유전자 발현 조절 같은 메커니즘에 대한 내용을 기술하고, 연구 방법에 선충의 생식력 측정 및 이동 경향과 수명을 확인하는 방법, AMPK(AMP-activated kinase)의 활성을 확인하는 방법을 기술하는 등 자신들이 직접 생성한 연구 의문을 바탕으로 가설을 설정하고 탐구를 설계하는 높은 수준의 추론을 나타냈다(I-4수준).

물질 A가 AMPK를 활성화시키며, AMPK의 활성화가 식이제한 상황을

유도한다면 물질 A가 수명 연장 효과를 나타낼 수 있을 것이다...

(진우, 현준, 연구계획서)

DNA 팀은 ‘미시 세계 탐구’에 대한 개인적 흥미와 수업 시간에 다룬 ‘DNA의 구조와 손상’에 대한 관심에서 출발하여 자유탐구의 목적으로 ‘DNA 손상 보호의 가능한 메커니즘으로 물리적 보호와 화학적 보호 중 어느 것이 더욱 타당한지를 알아보는 것’을 제시함에 따라 ‘과학적 의미 형성’의 인식적 목표를 나타냈다. 이들은 기존의 많은 연구들이 특정 물질의 DNA의 손상 보호 효과를 단순히 확인하는데 그친 것에 불만족하여, DNA 손상 보호물질의 손상 보호 메커니즘을 규명하는데 연구의 목적과 독창성이 있음을 분명히 밝혔다(I-4수준, II-3수준).

입문 시기에 두 팀의 학생들이 모두 인식적 목표를 ‘과학적 의미 형성’에 둘 수 있었던 맥락으로는 학생들이 비슷한 사전 연구 경험을 바탕으로 자유탐구의 본성과 목표를 충분히 이해하고 있었을 뿐만 아니라, 생명과학 연구자의 진로를 희망하는 과학고등학교 구성원으로서 ‘현상 이해를 목표로 하는 연구’에 대한 공동체의 가치를 공유하고 있었기 때문으로 해석할 수 있다. 이는 특정한 학문 영역의 상징적 규칙, 사고습관, 가치를 공유하는 공동체 문화가 학생들의 진정한 연구 참여를 촉진했다는 연구 결과와도 일치한다(e.g., Kapon, 2016).

저희는 어디에 집중을 했냐면 어떻게 보호를 하느냐에 집중을 한 거죠. 거기(선행연구)는 그냥 현상학적으로 그냥. 저는 그런 거 싫어하거든요... 그래도 (메커니즘이) 한정되어 있지 않아요? 예를 들어 물리적인 거면은 염기가 변한다거나, 아니면 끊어진다고거나...

(도영, 1차면담)

...연구 결과에 DNA를 어떻게 보호하는지에 대한 메커니즘이 설명되지 않았다. 필자는 현상학적인 고찰보다 어떻게 DNA를 보호하는지가 궁금하게 되었다... 본 연구는 DNA 손상 보호물질들의 손상 보호 메커니즘을

규명하는데 목적이 있다. 우리는 보호 메커니즘을 두 가지 원리-물리적 손상과 화학적 손상-으로 나누었고... 메커니즘에 대해 명확히 규명하기 어렵지만 이 물질들이 물리적 혹은 화학적 메커니즘을 가진다는 것을 알게 됨으로써 그 원리에 대한 범위를 좁힐 수 있다는데 의의가 있다...

(도영, 민재, 연구계획서)

그러나 인식적 이해의 정당화 측면에서는 두 팀 모두 낮은 수준을 보였다. 선충 팀은 선행연구의 연구 방법이나 실험 프로토콜을 비판적으로 검토하거나 자신들의 연구에 맞게 변형하는 과정 없이 그대로 따르는 등 자신들의 해석을 사용하여 실험 설계나 자료 해석의 기준을 평가하거나 정당화할 필요성을 인식하지 못했다. 진우는 자료 해석 기준에 대해 “당대사를 했을 때 물질 B를 얼마나 흡수하는가에 따라서 형광을 띠는 정도가 다르게 발현이 되는 그런 형질이... 아니면은 형광으로만 비교하는 게 조금 그렇다 싶으면 AMPK의 활성을 비교해서 그게 운동 정도, 얼마나 활발하게 움직이는지 그거를 비교하면은 이게 결국 수명이랑도 관련 있다고 할 수 있지 않을까(진우, 2차면담)”라며 변인 선택에 대한 과학적 이유를 제시하지 못했으며(Ⅲ.A-3수준), “계속 튀는 값이 나오면 반복한 뒤에는 받아들여야겠죠?(현준, 1차면담)”라며 구체적인 해석 기준을 제시하지 못했다(Ⅳ.B-1수준).

DNA 팀 역시 “추출은 벌써 실험해 봐가지고, 겨울방학 때 S 대학교에서 DNA 추출하는 거 해 봤었어요... (DNA는) 임의의 생물이요. 어차피 DNA라는 분자 자체는 본질적으로 같으니까. 양은 좀 통제할 필요가 있을 거 같은데(민재, 1차면담)”라며 변인 선택이나 통제 설계에 대해 과학적 이유를 제시하지 못했으며(Ⅲ.A-3수준, Ⅲ.B-3수준), 연구 방법에 관해서는 이미 알려진 DNA 추출 프로토콜만을 언급하였을 뿐 실험 설계나 자료 해석의 기준을 평가하거나 정당화할 필요성을 인식하지 못했다.

입문 시기에 두 팀의 학생들이 정당화에 대해 낮은 수준의 인식적 이해를 나타낸 맥락으로는 연구에 대한 깊이 있는 경험과 이해 부족을 들 수 있다. 학생들은 이 시기의 주요 과업인 연구 계획서 작성 과정에서

선행 연구나 자료 해석의 기준을 비판적으로 검토하지 않은 상황에서 교사의 강조점(e.g., 연구의 배경이 되는 과학 이론에 대한 상세한 기술, 정확한 내용 이해, 정밀한 실험 통제 등)만을 고려한 것으로 보인다. 또한 이 시기의 연구 성찰일지가 내용의 평가나 비판적 검토 보다는 연구 문제의 가치나 연구가 따랐던 과학적 방법에 대한 생각을 주로 표현하도록 요구한 점도 영향을 미친 것으로 보인다.

청중 측면의 인식적 이해에 대해 선충 팀은 복합적인 인식을 나타냈다. 이들은 이론적 배경에 대한 정확한 이해, 정밀한 실험 통제에 대한 교사의 기대에 대해 “아이디어 정도나 구체적인 실험 수치를, 그런 거를 인용할 수 있을지는 정확히 모르겠어요(현준, 1차면담)”라며 자신의 연구 결과가 하나의 지식 산물로서 지니는 가치를 확신하지 못하는 등 스스로를 지식의 구성자로 인식하지 않았다. 그러나 연구 성찰일지에서 연구 문제의 가치에 대한 생각을 표현한 후에는 자신들의 연구는 학계의 관심 분야에 대한 연구라는 점에서 가치를 지니며, 과학자 연구의 도움을 받아 이루어진다고 표현한 것에서 과학 공동체를 암묵적인 협력자로, 자신들을 지식의 구성자로 인식하기 시작했다. 이는 이들이 형식적 인식론으로 나타낸 ‘다양한 결론의 경우 과학자 집단이 가진 지적 특성에 영향을 받을 것이다... 학문들은 서로 유기적인 관계로 자신들의 메커니즘을 공유하며 발전한다(현준, 과학의 본성에 대한 활동지)’와 같은 세련된 인식론적 이해와 연구 성찰일지에서 연구의 가치를 주장하는 과정이 바탕이 되었기 때문이라고 해석할 수 있다. 뿐만 아니라 두 팀원은 선행연구 및 관련 과학 이론에 대한 충분한 이해와 소통을 통해 연구 방향에 대해 일치된 생각을 가짐으로써 서로를 협력적 지식의 구성자로 인식할 수 있었다. 이는 학생들이 소통을 통해 과학적 아이디어와 지식을 공유할 때 인식적 측면을 인지하고 사회적 실행을 발달시킬 수 있다는 연구 결과와 일치한다(e.g., Rivera Maulucci *et al.*, 2014; Duschl & Grandy, 2013).

저희가 다른 연구소나 그런 과학자들이 해놓은 연구를 참고해서 그 안에서 하는 것 같은 느낌이 들어요. 저희가 도움을 받고 있는 느낌. 안에

서 밖으로 나가지 못하고, 안에서 따라하는, 이거해보고, 저거해보고...

(진우, 1차면담)

반면, DNA 팀은 연구 관련 이론에 대한 이해나 실험 기술 등 전문성 측면의 부족함을 이유로 자신들의 인식적 권위를 인정하지 않는 등 스스로를 지식의 구성자로 인식하지 않았다. 이들 역시 연구 성찰일지에서 연구의 가치를 ‘분자적 수준의 해석의 필요성’과 같은 학술적 측면을 중심으로 주장함에 따라 자신들을 지식의 구성자로 인식할 기회를 가졌다. 그럼에도 불구하고 형식적 인식론에 대해 ‘과학은 여러 현상을 논리적 모순 없이, 사실주의를 지향하는, 불변의 진리를 추구하는 학문이다, 과학자들은 실험 결과를 확신할 수밖에 없다(도영, 과학의 본성에 대한 활동지)’와 같은 소박한 인식론적 이해를 굳건하게 지녔다는 점과 초반에 연구 문제가 계속해서 바뀌며 팀원들이 연구 방향에 대해 충분한 합의에 이르지 못하였던 점을 청중에 대한 인식적 이해를 낮은 수준에 머무르게 한 요인으로 지적할 수 있다.

2. 수행 시기: 실험 수행 및 자료 수집

두 팀은 입문 시기에 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성 측면에서 비슷한 수준을 보인데 비해, 실험을 수행하고 자료를 수집하는 수행 시기에는 큰 차이를 보였다. 이 시기에 선충 팀은 인식적 목표와 인식적 이해에서 전반적으로 높은 수준을 보인 반면, DNA 팀의 인식적 목표는 낮은 수준으로 전환되었으며 일반성과 정당화 측면의 인식적 이해에서 낮은 수준을 나타냈다. 추론의 복잡성에 대해 선충 팀은 대체로 4수준의 추론을 나타낸 반면, DNA 팀은 2수준이나 3수준의 추론을 나타냄에 따라 두 팀은 추론 수준에서도 차이를 보였다.

선충 팀은 현상을 이해할 수 있는 충분한 근거를 마련하고자 탐구 수행의 범위를 학교 밖으로까지 확장하여 적극적으로 문제를 해결하는 등 인식적 목표를 ‘과학적 의미 형성’에 두었다. 이들은 직접 외부 연구소에 도움을 요청하여 시간적, 공간적 제약을 극복함으로써 메커니즘 규명에 필요한 Western blotting 실험을 수행하였다. 그러나 실험 결과가 예상했던 대로 나오지 않자, 학생들은 이 실험 결과 없이는 의도했던 연구 문제에 충분한 답을 제시할 수 없을 것이라 생각하고 이를 보완할 만한 새로운 실험에 대해 고민하였다. 이 과정에서 진우가 1학년 때 자유탐구 활동에서 세포 연구를 했던 경험을 바탕으로 세포 실험 아이디어를 제시하였고, 관련 자료 조사와 논의를 통해 물질 A와 물질 B가 위 상피세포의 생존율에 어떠한 영향을 미치는지 알아보는 실험을 고안할 수 있었다. 이들은 주말을 활용하여 새롭게 고안한 추가 실험을 수행하였다.

원래는 이런 걸 분석을 사실 안 하려고 했거든요... 제가 딱 (결과가 안 나왔다는 내용의) 전화를 받고 나서, 아무런 더 이상 실험을 못 할거라고 (교수님께서) 그러셨는데... 이거(CCK Assay)는 배양하고 찍기만 하면 되잖아요. 그래서 그때 할 수 있는 게 뭐가 있을까 하다가.

(진우, 3차면담)

반면, DNA 팀은 실험 수행 중 발생한 문제나 어려움을 적극적으로 해결하려 하기 보다는 기한 내에 탐구결과를 마무리 하는 것을 최우선 과제로 인식하고 행동함에 따라 인식적 목표가 ‘정답 찾기’로 전환되었다. 인식적 목표의 전환에 영향을 미친 맥락으로는 자료 수집 과정의 시간적, 공간적 제약을 지적할 수 있다. 선행연구에서도 시간적 제약과 같은 실행적인 제약이 학생들의 인식론적 자원의 선택에 영향을 미치는 것으로 지적되었듯이(Berland & Crucet, 2016), 초보 연구자인 학생들이 5일이라는 한정된 시간 동안 학교 실험실의 기자재만으로 자료를 수집해야 하는 상황은 활동의 목표를 피상적인 수준에 머무르게 하는 요인으로 작용하였을 것이다. 이와 관련하여 선충 팀의 학생들은 환경적 제약을 외부 연구소의 도움을 바탕으로 극복할 수 있었지만, 적절한 도움이나 해결책을 구하지 못한 DNA 팀의 학생들은 주어진 환경에서 자료 수집이라는 과업을 완수한 것에 의의를 두었다.

정당화 측면의 인식적 이해에서도 두 팀은 차이를 보였다. 선충 팀은 기존 문헌의 실험 프로토콜을 그대로 따르기보다는 과학적 근거에 대한 자신들의 해석과 아이디어를 바탕으로 독창적으로 실험을 설계하고 수행함에 따라 ‘우리의 해석을 사용하여 실험 설계를 고안하고, 실험 수행을 평가하는 기준을 제시한다’와 같은 높은 수준의 인식적 이해를 나타냈다. 이렇게 인식적 이해의 수준이 향상되는 데는 외부 연구원들과의 논의 과정에서 자신들의 역량과 인식적 권위를 확인할 수 있었던 점이 중요한 계기로 작용하였다고 볼 수 있다. 이는 학생들이 과학자들과의 논의 과정에서 과학적 역량을 인정받는 경험을 통해 자신들도 과학 공동체의 구성원이 될 수 있다고 인식하였다는 연구 결과(e.g., 이민주 & 김희백, 2016)나 지역 산업체 과학자의 적극적인 멘토링이나 외부 전문가에 대한 충분한 접근성이 확보될 때 학생의 연구 아이디어가 촉진될 수 있다는 연구 결과(e.g., Kapon, 2016; Charney *et al.*, 2007)와 일치한다. 선충 팀의 학생들은 선충의 개체 수 측정 도구와 같은 구체적인 실험 기법에 대한 정보가 부족해 어려움을 겪었다. 이와 관련하여 학생들은 다양한 방법을 시도하며 한참 동안 시행착오를 겪다가, 진우가 작년에 R&E 활동

을 하며 알게 된 인근 대학교의 연구원에게 도움을 요청하였다. 학생들은 연구원과 문제를 함께 논의하며 자신들만의 독창적인 실험 노하우를 개발하였으며(IV.B-4수준), 자신들의 아이디어를 바탕으로 고안한 실험 방법을 연구에 활용할 만한 의미가 있다고 인식하는 등 자신들의 인식적 권위를 인정하기 시작했다.

현준: 선충도 처음에는 일일이 그걸 다 세고(웃음)

교사: 그 과정에서 얻은 스킬이 있어?

현준: 그건 진짜 아주 많이 바뀌었죠... 개네가, 희석한 다음에, 그때 너 rpm 찾지 않았냐?

진우: 맞아, 되게 약하게 오래 했어요. 막 물어보고 해서.

교사: 누구한테 물어봤어?

진우: 제가 작년 여름방학 때 R&E 했던 대학원생 분한테 혹시 아시냐고 물어봤어요... 예쁜꼬마선충 할 때도 차갑게 안하려고했는데, 꼭 무조건 드라이아이스 안에다 넣고 해야 된다고 연구원분들이 말씀해주셔서....

(진우, 현준, 3차면담)

또한 이들은 선행연구에 나온 선충 배양 방법을 응용하여 과학적 근거를 바탕으로 1개의 디시에 8개의 배지 조건을 나타낼 수 있는 방법을 고안하였고(III.A-4수준), 단기간에 선충의 수명을 보기 어려워 대안으로 제시한 방법인 생식력과 선호도를 확인하는 방법도 구체화하여 수행하였다. 또한 대조군 설정에 의도적인 주의를 기울이는 등 높은 수준의 추론을 나타냈다.

일단 선충 개체 수 측정은 수명 연장 대신에 번식하는 속도가 있을 테니까 그 변인을 적용한 다음에 개체수를 측정하는 건데, 이거는 저희가 저희 세포실에서 격자 판 그래서 하나하나 측정하듯이 단위 부피당 애네가 얼마나 서식하는지...

(현준, 3차면담)

디시 1개도 8등분해서 했고, 그 디시에 물질 B 없는 거를 대조군으로 보았죠. 그것(CCK Assay)도 (세포가) 아무것도 안 들어간 CCK 용액, 증류수만 넣은 거랑을 대조군으로 했어요. (Ⅲ.B-4수준)

(진우, 3차면담)

반면, DNA 팀은 이전 시기 비판적 검토의 필요성에 대한 낮은 인식이 이어져 자신들의 해석을 바탕으로 실험을 설계하거나, 실험 수행을 평가 또는 정당화 할 필요가 없다고 인식하였다. 이러한 인식은 실험의 한계점을 피상적으로 고려하여 실험 프로토콜을 그대로 따르고(Ⅳ.B-2수준), 실험 결과를 적극적으로 소통하거나 방어하지 않는(Ⅳ.E-2수준) 낮은 수준의 추론으로 이어졌다.

그냥 (선행연구에 나온) 매뉴얼대로 한 것 같은데요. 흡광도 측정이 간단하잖아요. 값만 딱 얻어 가면 되는 거니까. 그 기준은 너무나 명확하게 되어 있는 거라...(Ⅲ.B-3수준)

(도영, 3차면담)

청중 측면의 인식적 이해에 대해 두 팀은 공통적으로 동료들 공동체의 구성원으로 인정하는 특성을 보였다. 선충 팀은 서로의 능력에 대한 신뢰를 바탕으로 역할을 분담하여 실험을 수행하였으며, 자신들이 수행하는 실험이 연구의 근거로서 어떠한 의미를 지니는가에 대해 충분한 논의를 바탕으로 방어하는 등(Ⅳ.E-3수준) 자신들을 협력적인 지식의 구성자로 인식하였다. 뿐만 아니라 연구 동료의 범위를 외부로까지 확장함으로써 이전 시기에 암묵적인 청중으로 인식했던 과학 공동체를 명시적인 청중으로 인식하였다.

진우는 1학년 때 세포나 분자적인 걸 주로 했었으니까 그쪽을 말고,

저는 선충 생태 관련해서 그쪽을 맡고, 저는 균 배양이 사실 처음이었는데 서로 잘 할 수 있는 걸로 역할을 분담해서 수행한 거죠.

(현준, 3차면담)

DNA 팀 역시 동료의 능력에 대한 인정을 바탕으로 자신들을 협력적인 지식의 구성자로 인식하는 등 향상된 수준의 인식적 이해를 나타냈다. 도영이는 “민재가 화학을 잘해서, 민재 말로는 수소 결합력이 산-염기 반응하는 것보다 효과가 훨씬 더 결합력이 세 가지고... 그리고 애초에 당-인산 골격이 있어서 개네가 그 H^+ 랑의 조금 물리적으로 막을 수 있다 이런 식으로... 민재도(1학년 때) 화학 (자유탐구)을 했다 보니까 마이크로피펫을 많이 써봤겠죠(도영, 3차면담)”라며 각자의 전문 분야를 바탕으로 역할을 분담하였으며, 실험이 연구 근거로서 지니는 의미에 대해 합의된 생각을 나타냈다. 이와 관련하여 공동체 산출물의 요구와 같은 맥락이 학생의 인식론적 자원의 전환을 촉진하였다는 Berland와 Crucet(2016)의 연구 결과처럼, 팀원 간의 협업과 합의가 절실히 요구되는 ‘실험 수행과 자료 수집’이라는 과업의 특성은 청중에 대한 인식을 향상시키는 맥락으로 작용할 수 있다.

3. 발표 시기: 자료 해석 및 결과 발표

두 팀의 학생들은 입문 시기와 수행 시기를 거친 후에 자료를 해석하여 논문을 쓰고, 연구 결과를 정리하여 발표하였다. 이 시기에 두 팀은 인식적 목표와 인식적 이해 및 추론의 복잡성 측면에서 여전히 큰 차이를 보였다. 선충 팀은 전반적으로 인식적 목표와 인식적 이해에서 높은 수준을 보인데 비해, DNA 팀은 인식적 목표 및 정당화와 청중 측면의 인식적 이해에서 낮은 수준을 보였다. 추론의 복잡성에 대해 선충 팀은 대체로 4수준의 추론을 나타냈지만 DNA 팀은 대체로 2수준의 추론을 나타냄에 따라 두 팀은 추론 수준에서도 큰 차이를 보였다.

선충 팀은 선행연구의 메커니즘을 활용하여 연구 결과를 설명함에 따라 인식적 목표를 ‘과학적 의미 형성’에 두었다. 수명 연장에 관한 메커니즘을 규명하고자 했던 초기의 연구 주제가 ‘물질 A 유무와 물질 B 농도에 따른 선충의 선호도와 체내 세포의 생존율’을 알아보는 것으로 바뀌었지만, 기존 메커니즘을 바탕으로 세포의 생존율 실험 결과를 수명과 연관 지어 설명하려 하였다.

현준: 인슐린 역할, 인슐린과 비슷한 메커니즘을 겪는다고 했잖아

교사: 인슐린과 같은 메커니즘?

진우: 비슷한 메커니즘을 거친다고 그랬어요... 그 다음에 많은 물질 B가 다른 경로 전환되는 거 아니에요?

현준: 세포 밖에서 당이 많으면 애가 자기 혼자 당 낮추지 않을까? 항상성에 의해서...

(현준, 진우, 4차면담)

반면, DNA 팀은 자유탐구 활동의 의미를 현상에 대한 의문을 해결하는 것 보다는 기한 내에 논문을 마무리하여 제출하는 것에서 찾음에 따라 이전 시기와 동일하게 ‘정답 찾기’에 인식적 목표를 두었다. 도영이는 연구의 의미에 관한 면담에서 “끌려간 게, 제가 아까 말씀드렸던 그거

있잖아요. 그게 지금까지 (자유탐구를) 세 번 했는데 맨 날 그 생각만 들고...(도영, 4차면담)”라며 연구를 통해 현상을 이해하기보다 기한 내에 과제를 완료하는 것을 우선순위에 두었다.

발표 시기에 두 팀은 정당화 측면의 인식적 이해에서 서로 상반되는 특성을 보였다. 선충 팀은 결과 해석에서 자신들의 자료에 대한 가치 부여, 자신들의 방식으로 자료 변환, 기존 연구와의 차별화 등을 시도함으로써 ‘우리의 해석을 활용하여 자료를 해석하고 결론을 정당화해야 한다’는 인식적 이해를 나타냈다. 이는 이전 시기의 자신들의 인식적 권위에 대한 인정과 이에 바탕을 둔 높은 수준의 인식적 이해가 발표 시기까지 이어져 영향을 미친 것으로 해석할 수 있다. 정당화에 대한 높은 인식적 이해는 높은 수준의 추론으로 이어졌다. 진우는 ‘서로 다른 성격을 갖는 선충의 선호도, 인간의 당뇨병 치료제인 물질 A, 위 상피세포의 생존율에 대한 실험 결과들이 어떻게 서로 연관될 수 있는가?’와 같은 물음에 대해 ‘인간과 선충이 일정 비율의 유전자를 공유하기 때문에 선충을 대상으로 한 실험 결과를 인간에게 적용할 수 있다’는 내용을 근거로 제시하며 방어하였다.

선행연구에서도 선충 결과를 발표할 때, 인간과 선충의 유전자를 40% 공유한다는 점에서 인간한테 확대 했어요... 이때까지 연구가 선충으로 많이 진행되고 있는데, 연구 결과 거의 대부분이 쥐에서도 일치했고, 나중에 조금 더 오랜 시간이 지났을 때 사람에서도 거의 비슷한 결과를 보여서...(IV.C-4수준, IV.E-4수준)

(진우, 4차면담)

또한 학생들은 자료를 해석할 때 선행연구 등 기존 문헌의 해석 방식을 활용하는 것에 그치지 않고, 연구에 대한 자신감을 바탕으로 자신의 방식대로 자료를 변환하는 과정에서 자료의 의미를 자신들의 언어로 재정의했다.

시약의 성분 구성과 논문에서 사용할 약자를 아래 Table.*에 명시하였다. 시약은 배지에 놓인 Paper Disc에 시계방향으로 MO_0부터 MX_8까지 차례대로 배열하였으며 Paper Disc에는 농도별 물질 B 용액 80ul 와 농도별 물질 A 용액을 80ul 각각 처리하였다... (IV.A-4수준)

(진우, 현준, 논문)

파이그래프로 해서 실어놨어요. (그래프가) 되게 멋있다고 생각했어요. 이거 그리고 되게 뿌듯했어요... 여기도 0, 2, 4, 8 이 방향으로 물질 B 농도가 높아지고... 여기 적혀있는 게, 물질 A 없고 0%, 물질 A 없고 20% 인거예요. 이 기호들은 앞에 정의한 다음에 붙여놨어요. (IV.A-4수준)

(현준, 4차면담)

또한 연구에서 생장과 번식을 본 것이 수명과 관련하여 어떤 의미를 지니는지를 설명하고, 자신의 아이디어를 바탕으로 고안한 수식이나 기준에 따라 자료를 해석하는 행위주체적인 수행을 나타냈다. 이는 학생들이 연구 활동에서 자신의 아이디어를 바탕으로 실행에 참여하는 과정에서 행위주체성을 정립하였다는 연구 결과(e.g., Kapon, 2016; Rivera Maulucci *et al.*, 2014; Charney *et al.*, 2007)와 일치한다.

생장이나 번식이라고 표현한 이유는 수명 연장과 대비시키기 위해서 그렇게 표현했어요. 인간 같은 경우에도 개체들이 그 식이제한 상태로 들어가면, 영양분이 없으니까 생장이나 번식을 멈추는데, 식이제한에서도 그 수명은 이어갈 수 있는 상태에 도달을 하니까, 수명 같은 경우는 생장과 별개로 봤어요. (IV.E-4수준)

(진우, 4차면담)

또한 학생들은 ‘상관도 검정, 기존의 메커니즘을 융합하여 새로운 가능성 제안하기, 다양한 실험 결과들의 관계를 여러 측면에서 밝히기’와 같은 다양한 방법을 통해 정당화를 시도했다(IV.C-4수준).

선호도 조사와 Bradford Assay간의 관련성을 보기 위해 먼저 각 Data 별로 구간을 정한 후 Level을 부여하여 부여된 Level사이의 일치율을 확인하는 상관도 Test를 진행하였으며, 그 결과는 Table *에 첨부하였다...

(진우, 현준, 논문)

지금까지 알려진 메커니즘에 대입해보고, 서로 독립적으로 존재하던 두 메커니즘을 하나로 융합시켜 봄으로써 주장의 견고함을 유지시킨다... 두 종류의 실험 결과를 여러 개의 잣대로 관련성을 찾는 것은 더욱 타당한 결론을 유추하기 위함이다...

(현준, 3차성찰일지)

이에 비해 DNA 팀은 자신들의 해석을 활용하여 자료를 해석하거나 결론을 정당화 할 필요를 인식하지 못했다. 정당화에 대한 낮은 인식적 이해는 낮은 수준의 추론으로 이어졌다. 이들은 자료 해석 과정에서 단순 탐구에서 주로 나타나는 알고리즘적인 추론(Chinn & Malhotra, 2002)만을 사용하였을 뿐 다양한 추론 형태를 활용하거나 다른 연구 결과를 활용한 정당화를 나타내지 않았다.

용액 속 DNA 분자의 농도가 같고 용액의 농도가 균일하다면, 물론 흡광도와 농도가 선형적인 관계를 가지지 않지만 농도의 대소 관계의 비교와 같은 과학적 의미는 변하지 않으므로, 타당한 실험법이라고 할 수 있다...(IV.C-3수준)

(도영, 민재, 논문)

이들은 객관적인 실험 프로토콜을 철저히 따랐기 때문에 별다른 정당화 없이 실험 결과를 제시하는 것만으로 충분하다고 인식하였으며, 이러한 인식은 논문이나 결과 발표에서 자료의 의미에 대한 해석이나 설명

없이 표와 그래프 형태만을 제시하는 실행으로 나타났다(IV.A-2수준). 이러한 인식은 도영이가 연구를 통해 배운 것으로 “검증된 실험 방법을 사용하는 것이 매우 중요하다(도영, 3차성찰일지)”를 제시한 것에서도 확인되었다. 한편 자료를 변환하여 얻은 그래프 중에서 유독 특이한 경향을 보이는 그래프에 대해서는 데이터가 부적합하나, 이론 영역 밖에 있으므로 설명할 필요가 없다고 보는(IV.B-2수준) ‘배제하기’ 유형을 나타냈다(Chinn & Brewer, 1998). 즉, 데이터의 적합성은 따졌지만, 부적합한 데이터의 원인을 고찰할 필요까지는 인식하지 못했다.

우리가 얻은 데이터로부터 결론과 다른 주장을 내릴 수 있는 여지는 없다... 그래프에서 특이하게 다른 점들과 다른 경향을 보이는 점이 있었다. 고찰에서 보편적인 경향에 대한 분석만 언급하였고 세세한 현상의 원인까지는 파악하지 못했다...(IV.B-2수준)

(도영, 4차성찰일지)

두 팀은 청중 측면의 인식적 이해에서 좀 더 확연한 차이를 드러냈다. 선충 팀은 자신들을 과학 공동체와 같은 지식의 구성자로 인식하였다. 이러한 인식은 “재 실험을 한다든가, 아니면 반복실험을 통해 오차의 원인을 제거한다든가 아무튼 (오차를 인정) 해야죠. 있는걸 아니라고 우길 수는 없으니... 최대한 타당한 이유를 찾아가면서 분석해야죠(현준, 4차면담)”라며 과학 공동체의 규범을 준수하여 실험의 한계점이나 자료의 결점을 조절하는 실행으로 이어졌다(IV.B-4수준). 또한 이들은 자유탐구 활동을 통해 평가를 잘 받는 것도 중요하지만 독립된 연구자로서 자신의 연구 역량을 발휘하고 성장시킬 수 있었던 나만의 연구라는 점에서 활동의 의미를 찾으려 하였고, 자신들의 연구는 학계에서 수행되는 연구의 연장선에서 기존의 메커니즘을 뒷받침한다는 점에서 의미 있다고 평가하며 후속 연구 과제를 제안하기도 하였다(IV.D-3수준). 뿐만 아니라 연구의 가치를 의약품으로의 활용 가능성을 뒷받침하는 실용적인 측면에서도 주장하였다(IV.E-4수준). 청중에 대한 이러한 인식은 활동의 전체 기간

동안 지속된 ‘과학적 의미 형성’의 인식적 목표를 바탕으로 탐구 결과의 활용 측면을 고찰할 수 있었기 때문이라고 해석할 수 있다.

지금까지 자료 조사 한 게 아까워서라도 이런 걸 조합해서 하나의 결론을 도출해보고도 싶었고... 이번 연구에서 처음으로 분자적인 걸 해 갖고 모델 이런 걸 하는 게 되게 신선한 경험이어서... 이런 표, 그래프 말고도, 더 새로운 변환 방식을... 이번에도 상관도 갖고도 해봤거든요. 이런 걸 하면서 분석 방법을 계속해서 쌓아나가는 것 같아서.

(현준, 4차면담)

...이러한 연구는 현재에도 계속되고 있으며, 계속해서 새로운 물질과 메커니즘이 등장하고 있다. 이러한 연구가 지속되어 축적된다면 향후 노화 및 수명 연장에 대한 전체적인 한 폭의 그림이 완성될 것이며... (IV.D-3수준)

(진우, 현준, 논문)

이에 비하여 DNA 팀은 자신들을 지식의 구성자로 인식하지 않음으로써 낮은 수준의 인식적 이해를 보였다. 도영이는 자유탐구 결과가 연구로서 의미를 지니기 위해서는 자유탐구를 수행하기 전에 자신들이 과학 이론, 실험 원리, 실험 기술 등에 대해 충분한 능력을 갖추고 있어야 하는데, 자신들은 그런 수준에 이르지 못했기 때문에 자신들의 활동을 연구로 보기에는 부족함이 있다고 인식하였다. 이와 같은 인식은 발표 시기에 교사에 의해 부과된 과업 성격과 학생들의 이해 부족에 의해 형성된 것으로 보인다. 교사는 문헌이나 과학 이론 같은 전문적인 내용의 이해와 활용을 요구하였고, 학생들은 교수적 지원의 부족으로 어려움을 해소하지 못한 상태였다. 이런 상황에서 정확한 내용 이해에 대한 교사의 기대가 학생의 인식적 이해의 하락에 영향을 미쳤다고 해석할 수 있으며, 이는 ‘분명함’을 지향하는 교사의 교수 활동이 학생들로 하여금 지식 구성의 목표 대신 교사의 기대에 맞추어 활동하게 하는 신호로 작용하였

다는 여러 연구 결과(e.g., Berland & Hammer, 2012a; Berland & Crucet, 2016)와 비슷하다.

...충분한 이론적 바탕이랑 충분한 실험법, 실험 원리가 교육되지 않은 상태에서... 대부분의 애들이 그게 아닌 상태에서 하다보니까... 이게 연구라기보다는 한번 해보는 활동 정도로 생각하고 있어요. 연구는 이런 게 아니죠. 연구는 학부과정이란 다 거치고 실험법 다 꿰고 나서 모든 게 다 되어있는 상태에서 해야 되니까...

(도영, 4차면담)

본 연구에서 청중에 대한 낮은 인식적 이해는 낮은 수준의 실행으로 이어졌다. 학생들은 논문이나 구두 발표에서 탐구 결과를 적극적으로 방어하거나 소통하지 않았으며(IV.E-2수준), 후속 연구에 대해 전혀 고려하지 않는 등(IV.D-1수준) 낮은 수준의 추론을 나타냈다.

제 5 장 결론 및 제언

자유탐구 활동에서 나타난 과학고등학교 학생들의 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성을 탐색한 결과는 다음과 같은 결론을 가진다.

첫째, 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해는 활동 시기별 인식 대상의 특성과 학생들이 처한 맥락에 따라 차이가 있었다.

입문 시기에 두 팀의 학생들은 자유탐구 활동의 본성에 대한 충분한 이해와 ‘현상 이해’에 대한 가치 공유를 바탕으로 ‘과학적 의미 형성’에 인식적 목표를 두었다. 정당화에 대해서는 두 팀의 학생들 모두 선행 연구나 자료 해석의 기준을 비판적으로 검토하지 않은 상황에서 연구의 이론적 배경에 대한 정확한 이해와 상세한 내용 기술만을 고려함에 따라 낮은 수준의 인식적 이해를 나타냈다. 청중에 대해 선충 팀의 학생들은 교사에 의해 이론에 대한 정확한 이해와 정밀한 실험 통제가 기대되는 상황에서는 스스로를 지식의 구성자로 인식하지 않았지만, 연구 성찰일지를 통해 연구의 가치를 주장해보는 기회를 가짐으로써 스스로를 지식의 구성자로 인식할 수 있었다. 반면, DNA 팀의 학생들은 연구의 가치를 주장하는 기회를 가졌음에도 불구하고 활동 초반에 연구 문제가 계속 해서 바뀌며 연구 내용에 대해 깊이 있는 합의에 이르지 못함에 따라 스스로를 지식의 구성자로 인식하지 못했다.

수행 시기에 학생들은 한정된 시간과 공간 내에서 실험을 수행하고 자료 수집을 완료해야 하는 환경적 제약에 처했다. 이에 선충 팀의 학생들은 외부 연구소에 도움을 요청하여 추가 실험을 수행함으로써 ‘과학적 의미 형성’의 인식적 목표를 지속할 수 있었다. 반면, DNA 팀의 경우 환경적 제약을 극복하지 못함에 따라 인식적 목표가 ‘정답 찾기’로 전환되었다. 정당화에 대해 선충 팀의 학생들은 외부 연구원과의 논의 과정에서 자신들의 인식적 권위를 확인함으로써 실험 수행을 평가할 필요를 인식하는 등 향상된 인식적 이해를 나타냈다. 청중에 대해 두 팀의 학생들은 협업과 합의가 절실히 요구되는 수행 시기 과업에 대해 동료가 가진 능력에 대한 신뢰를 바탕으로 역할을 분담하였고, 충분한 소통을 바

탕으로 실험이 연구 근거로서 지니는 의미에 대해 합의된 생각을 나타냄에 따라 이전 시기와는 달리 스스로를 협력적인 지식의 구성자로 인식하였다.

발표 시기에 자료 부족과 교수적 지원의 한계로 전문적인 내용 이해 및 활용에 대한 어려움이 해소되지 못한 맥락은 DNA 팀의 청중에 대한 인식적 이해의 하락을 촉진하는 요인으로 작용하였다.

인식적 목표와 인식적 이해의 전환에 영향을 미친 맥락을 정리하면 다음과 같다. 먼저 ‘현상 이해에 대한 가치 공유, 연구의 가치에 대해 성찰해보는 기회, 협업과 합의를 요구한 과제 특성, 팀원 간의 충분한 소통 기회’와 같은 맥락은 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해의 향상을 촉진시키는 요인으로 작용하였다. 반면, ‘선행연구나 자료 해석 기준에 대한 비판적 검토 기회의 부재, 환경적 제약’과 같은 맥락은 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해를 하락시키는 요인으로 작용하였다.

둘째, 학생들의 인식적 목표와 인식적 이해는 추론의 복잡성에 영향을 미쳤다. 입문 시기에 두 팀의 학생들이 나타낸 ‘과학적 의미 형성’의 인식적 목표는 자신들의 관심에서 비롯된 의문을 바탕으로 검증 가능한 가설을 설정하는 것과 같은 높은 수준의 추론으로 이어졌다. 정당화에 대한 높은 인식적 이해는 대조군 설정에 의도적인 주의를 기울이고, 실험의 결점을 세심하게 고려하여 독창적인 실험 노하우를 개발하는 것과 같은 높은 수준의 추론으로 이어졌다. 청중에 대한 높은 인식적 이해는 해당 실험이 연구의 근거로서 어떠한 의미를 지니며, 자신들의 연구가 어떠한 점에서 실용적 가치를 지니는지를 논변을 들어 방어하거나 소통하는데 영향을 미쳤으며, 후속 연구 과제를 제안하는 것과 같은 높은 수준의 추론으로 이어졌다.

반면, DNA 팀이 수행 시기부터 나타낸 ‘정답 찾기’의 인식적 목표와 정당화에 대한 낮은 인식적 이해는 자료가 지니는 의미에 대한 해석 없이 자료를 표와 그래프 형태로만 제시하고, 실험의 결점이나 한계점을 조절하지 않는 낮은 수준의 추론으로 이어졌다. 청중에 대한 낮은 인식적 이해는 연구 결과를 적극적으로 방어하거나 소통하지 않고, 후속 연

구에 대해 고려하지 않는 낮은 수준의 추론으로 이어졌다.

본 연구는 생산적인 자유탐구 지도와 관련하여 다음과 같은 교육적 함의를 가진다.

첫째, 연구 활동의 가치를 공유하고, 스스로의 인식적 권위를 확인할 수 있는 충분한 소통 기회를 제공할 필요가 있다. 본 연구에서 DNA 팀은 활동 초반에 연구 문제가 계속해서 바뀌며 충분한 합의에 이르지 못하는데 비해, 선충 팀은 팀원 간의 충분한 소통을 바탕으로 연구 방향에 대해 합의된 생각을 나타냄으로써 서로를 협력적 지식의 구성자로 인식하였다. 이는 한 팀에 속한 학생 연구자들이 연구의 가치, 근거, 방향 등에 대해 충분히 소통하여 합의에 이를 수 있도록 격려하는 것이 중요함을 보여준다. 또한 연구 결과 발표와 같은 소통 기회는 단순한 평가 기능을 넘어 과학자 사회로의 연결적 경험이라는 의미를 지닌다는 점에서도 중요하다(이민주 & 김희백, 2016).

둘째, 자신들의 연구 결과 뿐 아니라 연구와 관련된 기존 문헌의 내용을 비판적으로 검토해보는 기회를 제공할 필요가 있다. 본 연구에서 학생들은 연구 성찰일지의 반 구조화된 질문을 바탕으로 ‘연구 주제 선정의 이유와 가치, 자료 해석 및 평가의 기준, 논리성을 갖춘 설명을 구성한 방법’ 등에 관한 생각을 표현하였는데, 이 중에서도 ‘연구 주제의 가치’에 대한 성찰 경험은 청중에 대해 높은 인식적 이해를 갖게 하는 맥락으로 작용하였다. 반면, 연구 관련 문헌이나 선행연구를 비판적으로 검토해보는 활동은 학생들의 자발적인 수행으로 나타나지 않았고, 연구 성찰일지 등의 교수적 지원을 통해서도 다루어지지 않았다. 결국 비판적 검토 기회의 부재는 입문 시기에 학생들이 정당화에 대해 낮은 인식적 이해를 갖게 하는 요인으로 작용하였다. 이러한 결과는 연구 관련 문헌의 내용을 비판적으로 검토하거나 성찰해보는 기회를 의도적으로 제공하는 것이 학생의 해석을 바탕으로 연구 아이디어를 정당화 하는데 도움이 될 수 있음을 시사한다.

과학 연구자의 진로를 결정한 학생들에게 자유탐구는 학생 연구자로서 과학 공동체의 인식적 실행을 경험해 볼 수 있는 중요한 기회이지만, 현

장에서는 여전히 이에 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서 탐색한 학생의 인식적 목표와 인식적 이해 및 인식론의 전환 맥락에 대한 이해는 이러한 어려움을 해결하는 하나의 방안이 될 수 있을 것이다. 다만 본 연구에서는 학생의 실행적 인식론 및 추론 활동에 대한 교수적 지원의 영향에 대해서는 심도 있게 논의하지 못하였다. 학생의 실행적 인식론을 고려한 교수 전략의 개발과 그러한 교수적 지원이 학생의 실행에 미치는 영향을 알아보는 후속 연구가 이루어진다면 자유탐구 활동의 진정성을 높이는데 더욱 기여할 수 있을 것이다.

본 연구는 윤현정, 김희백(2018). 자유탐구 활동에서 나타난 과학고등학교 학생들의 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성 탐색의 제목으로 한국과 학교교육학회지 38권 4호에 투고된 논문을 재구조화하여 제시하였음.

참 고 문 헌

- 강은주, 김선자, 박종욱. (2009). 초등과학 영재학생의 개방적 탐구 활동에서 나타난 참과학 탐구의 특징 분석. *영재교육연구*, 19(3), 647-667.
- 교육과학기술부. (2008). 과학과 교육과정 해설. 교육과학기술부.
- 권지숙, 김희백. (2016). 실험설계에서 나타난 소집단 논변활동 탐색: 활동에 대한 인식적 목표와 인식적 이해를 중심으로. *한국과학교육학회지*, 36(1), 45-61.
- 김미경, 김희백. (2007). 학생들이 제시한 질문의 유형 분석을 통한 개방적 참탐구 활동의 인지적 추론 측면의 효과. *한국과학교육학회지*, 27(9), 930-943.
- 김수진, 정영란. (2015). 고등학생의 인식론적 신념, 메타인지 및 과학 탐구 능력과 과학 학업성취도의 구조적 관계 분석. *한국과학교육학회지*, 35(6), 931-938.
- 민진선. (2011). 과학고등학교 학생들의 유전자 변형 작물 판정 탐구 과제에서 나타나는 인식론적 속성 분석: 탐구 설계와 결론 도출 과정을 중심으로. 서울대학교 박사학위 논문.
- 박종원. (2009). 과학영재를 위한 사사교육 준비와 유형에 대한 논의. *한국과학영재교육학회*, 1(3), 1-19.
- 박철진, 차희영. (2017). 초등 과학 영재 학생들의 자연선택 개념 이해를 위한 논변 활동에서 나타난 인식적 이해와 논변활동 수준 분석. *한국과학교육학회지*, 37(4), 565-575.
- 이민주, 김희백. (2016). 과학고등학교 학생들이 R&E 참여 과정에서 드러내는 과학적 실행 및 인식 변화: 실행공동체 내에서의 합법적 주변 참여의 관점에서. *한국과학교육학회지*, 36(3), 371-387.
- 임성철, 김진화, 정진우. (2013). 중학교 2학년 과학영재들의 자유탐구 활동에서 나타난 과학적 추론 능력 분석. *과학교육연구지*, 37(2), 323-337.

- 정선희, 최현동, 양일호. (2011). 예비초등교사의 자유탐구 활동에서 나타나는 추론 복잡성 분석. *초등과학교육*, 30(3), 379-393.
- 조현철. (2011). 과학 영재학생과 일반 학생의 인식론적 신념 비교. *영재와 영재교육*, 10(1), 5-26.
- Bang, M., & Medin, D. (2010). Cultural processes in science education: Supporting the navigation of multiple epistemologies. *Science Education*, 94(6), 1008-1026.
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A., & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of science apprenticeship program on high school students' understanding of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-509.
- Berland, L. K., & Crucet, K. (2016). Epistemological trade offs: accounting for context when evaluating epistemological sophistication of student engagement in scientific practices. *Science Education*, 100(1), 5-2.
- Berland, L. K., & Hammer, D. (2012a). Framing for scientific argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(1), 68-94.
- Berland, L. K., & Hammer, D. (2012b). Students' framings and their participation in scientific argumentation. In M. Khine(Eds.), *Perspectives on Scientific Argumentation*(pp. 77-93). Dordrecht: Springer.
- Berland, L. K., Schwarz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S., & Reiser, B. J. (2016). Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(7), 1082-1112.
- Burgin, S., & Sadler, T. D. (2013). Consistency of practical and formal epistemologies of science held by participants of a

- research apprenticeship. *Research in Science Education*, 43(6), 2179–2206.
- Bybee, R. W. (2000). Teaching science as inquiry. In J. Minstrell & E. H. van Zee (Eds.), *Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science*(pp. 20 - 46). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Charney, J., Hmelo Silver, C. E., Sofer, W., Neigeborn, L., Coletta, S., & Nemeroff, M. (2007). Cognitive Apprenticeship in Science through Immersion in Laboratory Practices. *International Journal of Science Education*, 29(2), 195–213.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1998). An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623–654.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218.
- Corbin, J., Strauss, A., & Strauss, A. L. (2014). *Basics of Qualitative Research*. California: Sage.
- Crawford, B. A. (2012). Moving the essence of inquiry into the classroom: engaging teachers and students in authentic science. In: Tan K., Kim M(Eds.), *Issues and Challenges in Science Education Research*(pp. 25–42). Dordrecht: Springer.
- Dolan, E., & Grady, J. (2010). Recognizing Students' Scientific Reasoning: A Tool for Categorizing Complexity of Reasoning During Teaching by Inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 21(1), 31–55.
- Duschl, R. A., & Grandy, R. (2013). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science & Education*, 22(9), 2109 - 2139.

- Elby, A., & Hammer, D. (2001). On the substance of a sophisticated epistemology. *Science Education*, 85(5), 554 - 567.
- Fusco, D. (2001). Creating relevant science through urban planning and gardening. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(8), 860-877.
- Hammer, D. (2004). The variability of student reasoning, lecture 3: manifold cognitive resources. In E. Redish & M. Vicentini(Eds), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI*. Bologna, Italy: Italian Physical Society.
- Hammer, D., & Elby, A. (2002). On the form of a personal epistemology. In B. K. Hofer, and P. R. Pintrich(Eds.), *Personal Epistemology: The Psychology of Beliefs About Knowledge and Knowing*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Jimenez-Aleixandre, M. P., Rodriguez, A. B., & Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Kapon, S. (2016). Doing research in school: Physics inquiry in the zone of proximal development. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1172-1197.
- Khishfe. R., & Abd-El-khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578.
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96(4), 674 - 689.
- Kuhn, D. (2004). What is scientific thinking and how does it develop? In U. Goswami (Eds.), *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development*. Malden, MA: Blackwell.
- Lawson, A. E. (2005). What is the role of induction and deduction in

- reasoning and scientific inquiry? *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 716 - 740.
- Louca, L., Elby, A., Hammer, D., & Kagey, T. (2004). Epistemological resources: Applying a new epistemological framework to science instruction. *Educational Psychologist*, 39(1), 57-68.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2007). Middle school students' use of appropriate and inappropriate evidence in writing scientific explanations. In M. C. Lovett., & P. Shah (Eds.), *Thinking with Data*(pp. 233-265). NJ: Erlbaum.
- Merriam, S. (1988). *Case Study Research in Education: A Qualitative Approach*. San Francisco: Jossey-Bass.
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, by States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- O'Neill, D. K., & Polman, J. L. (2004). Why educate "little scientists?" examining the potential of practice-based scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(3), 234-266.
- Rivera Maulucci, M. S., Brown, B. A., Grey, S. T., & Sullivan, S. (2014). Urban middle school students' reflections on authentic science inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(9), 1119 - 1149.
- Sandoval W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634-656.
- Sandoval, W. A., & Morrison, K. (2003). High school students' ideas about theories and theory change after a biological inquiry

- unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 369 - 392.
- Scherr, R. E., & Hammer, D. (2009). Student behavior and epistemological framing: Examples from collaborative active-learning activities in physics. *Cognition and Instruction*, 27(2), 147-174.
- Wickman, P. O. (2004). The practical epistemologies of the classroom: A study of laboratory work. *Science Education*, 88(3), 325-344.
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Method*(4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Abstract

Exploring Science High School Students' Epistemic Goals, Epistemic Considerations and Complexity of Reasoning in Open Inquiry

Yun, Hyeonjeong

Dept. of Science Education (Biology Major)

The Graduate School

Seoul National University

The purpose of this study is to explore the relationship between epistemic goals, epistemic considerations and complexity of reasoning of science high school students in the open inquiry and to explore the context in which open inquiry has the characteristics of authentic scientific inquiry. Two teams were selected as the focus group and the case study was conducted. The findings are as follows: First, the contexts such as 'sharing the value for the phenomenon understanding, reflection on the value of the research, task characteristics that require collaboration and consensus, and sufficient communication opportunities among team members' promote epistemic goals and epistemic considerations. On the other hand, contexts such as 'lack of opportunity for critical review of related literature and

environmental constraints' lowered epistemic goals and epistemic considerations. Second, epistemic goals and considerations influenced the complexity of reasoning. The epistemic goal of 'scientific sense making' led to a high reasoning that pose testable hypotheses based on students' own research questions. The high level of justification considerations led to a high reasoning that purposeful, focused attention to the design of controls and developed creative experimental know-how. The high level of audience considerations led to a high reasoning that defended their findings through argumentation and suggested future research. On the other hand, the epistemic goal of 'doing the lesson' and the low level of justification considerations led to low reasoning that did not interpret the meaning of the data and did not control the limit of experiment. The low level of the audience considerations led to a low reasoning that did not actively defend their findings and not suggest future research. The results of this study suggests that guidance should provide communication opportunities to share the value of activities and identify students' epistemic authority, and critical review opportunities.

keywords : open inquiry, authentic scientific inquiry, epistemic goals, epistemic considerations, complexity of reasoning

Student Number : 2016-21596